



Manejo de la luz en Invernaderos. Los beneficios de Luz de Calidad en el cultivo de Hortalizas.

Pedro Caldari Júnior

***Ciba Especialidades Químicas Ltda.
Brasil***

Keywords: Light Management, quality of light, greenhouse, vegetables.

1. Introducción

Se han identificado más de 20 factores importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los más importantes son: la nutrición, las malezas, las plagas y las enfermedades, la temperatura y la luz. En un cultivo bajo invernadero algunos factores pueden ser controlados, principalmente la luz y la temperatura, de tal manera que los rendimientos de cosecha sean los más próximos al potencial genérico de la variedad o especie. El microclima bajo invernadero debe ser el más próximo a las condiciones biológicas óptimas para la variedad cultivada. El manejo del invernadero se presenta como el factor determinante del éxito del agro negocio.

2. Los factores de producción: la luz y la temperatura

La luz: es un factor imprescindible para llevar adelante una serie de procesos fisiológicos en las plantas, siendo el más importante de todos la "fotosíntesis". Los pigmentos vegetales involucrados en la fotosíntesis son las antocianinas (azul, hoja y púrpura en color), los carotenoides (naranjas y amarillos en color) que absorben 450-500 nm (azul y verde) y pueden cambiar energía con la clorofila para ayudar en la fotosíntesis; los fitocromos que absorben la luz roja (660 nm) y la luz roja extrema (730 nm) siendo responsables por la fotomorfogénesis y por las respuestas de fotoperiodismo. Las hojas absorben eficazmente la luz en las longitudes de onda de las regiones del azul (400–500 nm) y rojo (500–600 nm) del espectro de radiación solar. Los fitocromos, fotoreceptores de las plantas, tienen su máxima sensibilidad en las regiones del rojo (R) y rojo lejano (RL) del espectro. Baja relación R:RL causa una reducción en la proporción de fitocromos que están en la forma activa y esta reducción estimula la elongación del tallo. Alta relación R:RL favorece la fotosíntesis y, por tanto, mayor producción de azúcares y materia seca, estimulando el crecimiento. Las longitudes de onda que las plantas se utilizan son llamadas de luz fotosintéticamente activa o PAR (400 a 700 nm, cerca de 45 al 50% de la radiación global).

La luz actúa sobre la asimilación de carbono, la temperatura de las hojas y en el balance hídrico, y en el crecimiento de órganos y tejidos, principalmente en el desarrollo de tallos, expansión de hojas y en la curvatura de tallos, interviene también, en la germinación de semillas y en la floración. La luz y la temperatura están directamente correlacionadas. En mayores niveles de luz hay mayor temperatura y a mayores niveles de temperatura hay mayor transpiración y consumo de agua. A mayor luminosidad en el interior del invernadero se debe aumentar la temperatura, la humedad relativa (HR) y el gas

carbónico (CO₂), para que la fotosíntesis sea máxima; por el contrario, si hay poca luz pueden descender las necesidades de otros factores.

La calidad de la luz varía ligeramente en la naturaleza, principalmente de acuerdo con la localización de la producción o invernadero. La calidad de luz tiene influencia en la tasa de fotosíntesis. A mayor altitud, las plantas están más expuestas a longitudes de las fracciones azul y ultravioleta del espectro de radiación. A nivel del mar, la luz es en parte filtrada y su calidad disminuida. Plantas que son cultivadas en una condición o influencia de mucha sombra reciben abundante luz de las fracciones azul y roja y tienen su crecimiento perjudicado, creciendo más largos y delgados por una tasa fotosintética más baja. Intensidades de luz muy altas pueden reducir el crecimiento por resultado de un "estrés hídrico".

La intensidad de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra se reduce por varios factores variables, entre ellos, la absorción de la radiación, en intervalos de longitud de onda específicos, por los gases de la atmósfera, dióxido de carbono, ozono, etc., por el vapor de agua, por la difusión atmosférica por la partículas de polvo, moléculas y gotitas de agua, por reflexión de las nubes y por la inclinación del plano que recibe la radiación respecto de la posición normal de la radiación. México es un país con alta incidencia de energía solar en la gran mayoría de su territorio siendo la zona norte una de las más soleadas del mundo.

La temperatura: es el parámetro más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que es el que más influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Para el manejo de la temperatura es importante conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada. Para una determinada práctica agrícola tenemos que conocer la temperatura mínima letal que es aquella por debajo de la cual se producen daños en la planta y las temperaturas máximas y mínimas biológicas que indican valores, por encima o por debajo respectivamente del cual, no es posible que la planta alcance una determinada fase vegetativa, como floración, fructificación, etc. Las temperaturas nocturnas y diurnas indican los valores aconsejados para un correcto desarrollo de la planta.

La temperatura en el interior del invernadero, depende de la radiación solar incidente, comprendida en una banda entre 200 y 4000 nm. El aumento de la temperatura en el interior del invernadero se origina cuando el infrarrojo largo, proveniente de la radiación que pasa a través del material de cubierta, se transforma en calor. Esta radiación es absorbida por las plantas, los materiales de la estructura y el suelo. Como consecuencia de esta absorción, éstos emiten radiación de longitud más larga que tras pasar por el obstáculo que representa la cubierta, se emite radiación hacia el exterior y hacia el interior, calentando el invernadero. El calor se transmite en el interior del invernadero por irradiación, conducción, infiltración y por convección, tanto calentando como enfriando. La conducción es producida por el movimiento de calor a través de los materiales de cubierta del invernadero. La convección tiene lugar por el movimiento del calor por las plantas, el suelo y la estructura del invernadero. La infiltración se debe al intercambio de calor del interior del invernadero y el aire fresco del exterior a través de las juntas de la estructura y la radiación, por el movimiento del calor a través de la zona transparente.

Tabla 1. Exigencias de temperatura para distintas especies						
	TOMATE	PIMIENTO	BERENJENA	PEPINO	MELÓN	SANDÍA
Tª mínima letal	0-2	(-1)	0	(-1)	0-1	0
Tª mínima biológica	10-12	10-12	10-12	10-12	13-15	11-13
Tª óptima	13-16	16-18	17-22	18-18	18-21	17-20
Tª máxima biológica	21-27	23-27	22-27	20-25	25-30	23-28
Tª máxima letal	33-38	33-35	43-53	31-35	33-37	33-37

Normalmente, durante el día la temperatura en el invernadero es mayor que en el exterior, pero durante la noche, en la que no existe aporte de radiación solar, el suelo se comporta como un cuerpo

negro y emite energía en forma de calor hacia el exterior. Esto es lo que se conoce como “efecto invernadero”. En la medida en que el material de cubierta del invernadero sea más o menos impermeable a la radiación, esta se reflejará de nuevo hacia el suelo y la temperatura del interior será mayor o menor durante la noche.

En algunas áreas geográficas es recomendable la reducción de la transmisión de energía térmica solar no luminosa (NIR). Es frecuente para evitar el calentamiento excesivo emplear mallas de sombreado en el interior o exterior del invernadero y la utilización del blanqueo del filme con la aplicación de un producto específico en la capa exterior de la cubierta. Ambas soluciones tienen un efecto negativo: además de reducir la transmisión NIR también disminuyen la PAR, que es la radiación que necesitan las plantas para realizar la fotosíntesis y que debería mantenerse siempre lo más alta posible.

3. Producción en Invernaderos y Casas de Sombra

Podemos definir un Invernadero como una estructura cerrada cubierta por materiales transparentes, dentro de la cual es posible obtener unas condiciones artificiales de microclima, y con ello cultivar plantas fuera de estación en condiciones óptimas. Las casas de sombra son estructuras con coberturas de pantallas negras o blancas, cerradas o no en sus laterales. Las ventajas de su utilización son: precocidad en la producción de frutos, aumento de la calidad y del rendimiento de los cultivos, producción fuera de época, ahorro de agua y fertilizantes, mejora del control de insectos y enfermedades y la posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año.

Las condiciones climáticas locales son determinantes del microclima generado dentro de un invernadero y de su manejo futuro, por lo que su conocimiento previo es necesario al construir el invernadero. El clima de una zona está condicionado por los intercambios radiactivos entre el sol y la tierra. Los elementos más importantes del clima para los invernaderos son la radiación solar, la temperatura, la humedad, el viento y las precipitaciones.

Para el cerramiento de invernaderos se puede utilizar varios materiales entre ellos el polietileno de baja densidad (PE). El PE es el plástico flexible más empleado actualmente, principalmente por su bajo precio, a sus buenas propiedades mecánicas, y a la facilidad para incorporar aditivos que mejoran sus prestaciones. Los aditivos más utilizados son los absorbentes de radiación UV, los secuestradores de radicales libres, los estabilizantes (HALS - Hindered Amines Light Stabilizers), los aditivos de proceso y los aditivos de aplicación (deslizantes, antibloqueo, estabilizantes frente a UV, aditivos térmicos, pigmentos).

El PE transparente tiene un poder absorbente de 5 al 30% en los espesores utilizados en agricultura, el poder de reflexión es de 10 al 14% y el poder de difusión es bajo. La transparencia del PE está comprendida entre el 70-85%. Podemos decir que dentro del invernadero cubierto con PE se percibe un 15-30% menos de luz aproximadamente que en el exterior.

Los tipos de películas o filmes para cubiertas de invernadero de PE más comunes son:

Polietileno Normal: presenta muy poca opacidad a las radiaciones nocturnas del suelo; es permeable en un 70% a las radiaciones de longitud de onda larga que emiten el suelo y las plantas, retiene un poco el calor que emiten las plantas y el suelo durante la noche.

Polietileno Normal De Larga Duración: este tipo de PE tiene unas características idénticas al PE normal, a excepción de su duración, que es bastante mayor, debido a los antioxidantes y estabilizadores que lleva en su composición. La duración varía según la luminosidad y el régimen de viento al que esté expuesta la lámina.

Polietileno Térmico De Larga Duración: el PE transparente térmico es un plástico que tiene la propiedad de dificultar mucho el paso de las radiaciones nocturnas (tiene una permeabilidad del 18% a las radiaciones longitud de onda larga en grosores de 120-150 micrones). Esto permite a los invernaderos cubiertos con este material que se anule casi en su totalidad la inversión térmica y que las temperaturas mínimas absolutas sean de unos 2 ó 3 °C más elevadas a las registradas en cubiertas de PE normal. Tienen un gran poder de difusión de la luz (hasta 55% de la radiación luminosa).

4. Necesidades específicas de los cultivos hortícolas cuanto a la luz, a la humedad y a la temperatura

Tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

Temperatura: La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 20 y 30°C durante el día y entre 15 y 17°C durante la noche; temperaturas superiores a los 30-35°C afectan a la fructificación, por mal desarrollo de óvulos y al desarrollo de la planta en general y del sistema radicular en particular. Temperaturas inferiores a 12-15°C también originan problemas en el desarrollo de la planta. A temperaturas superiores a 25°C e inferiores a 12°C la fecundación es defectuosa o nula. La maduración del fruto está muy influida por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, de forma que valores cercanos a los 10°C así como superiores a los 30°C originan tonalidades amarillentas.

Humedad: la humedad relativa óptima oscila entre un 60% y un 80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. También una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor.

Luminosidad: valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación así como el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad.

Pepinos (*Cucumis sativus* L.)

Temperatura: las temperaturas que durante el día oscilen entre 20°C y 30°C apenas tienen incidencia sobre la producción, aunque a mayor temperatura durante el día, hasta 25°C, mayor es la producción precoz. Por encima de los 30°C se observan desequilibrios en las plantas que afectan directamente a los procesos de fotosíntesis y respiración y temperaturas nocturnas iguales o inferiores a 17°C ocasionan malformaciones en hojas y frutos. El umbral mínimo crítico nocturno es de 12°C.

Humedad: es una planta con elevados requerimientos de humedad, debido a su gran superficie foliar, siendo la humedad relativa óptima durante el día del 60-70% y durante la noche del 70-90%. Sin embargo, los excesos de humedad durante el día pueden reducir la producción, al disminuir la transpiración y en consecuencia la fotosíntesis. Para humedades superiores al 90% y con atmósfera saturada de vapor de agua, las condensaciones sobre el cultivo o el goteo procedente de la cubierta, pueden originar enfermedades fúngicas. Además un cultivo mojado por la mañana empieza a trabajar más tarde, ya que la primera energía disponible deberá cederla a las hojas para poder evaporar el agua de su superficie.

Luminosidad: el pepino es una planta que crece, florece y fructifica con normalidad incluso en días cortos (con menos de 12 horas de luz), aunque también soporta elevadas intensidades luminosas y a mayor cantidad de radiación solar, mayor es la producción.

Pimientos (*Capsicum annuum* L.)

Temperatura: es una planta exigente en temperatura. Los saltos térmicos (diferencia de temperatura entre la máxima diurna y la mínima nocturna) ocasionan desequilibrios vegetativos. La coincidencia de bajas temperaturas durante el desarrollo del botón floral (entre 15 y 10°C) da lugar a la formación de flores con alguna de las siguientes anomalías: pétalos curvados y sin desarrollar, formación de múltiples ovarios que pueden evolucionar a frutos distribuidos alrededor del principal, acortamiento de estambres y de pistilo, engrosamiento de ovario y pistilo, fusión de anteras, etc. Las bajas temperaturas también inducen la formación de frutos de menor tamaño, que pueden presentar deformaciones, reducen la viabilidad del polen y favorecen la formación de frutos partenocárpicos. Las altas temperaturas provocan la caída de flores y fruto pequeños.

Humedad: la humedad relativa óptima oscila entre el 50% y el 70%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y dificultan la fecundación. La coincidencia de altas temperaturas y baja humedad relativa puede ocasionar la caída de flores y de frutos recién cuajados.

Luminosidad: es una planta muy exigente en luminosidad, sobre todo en los primeros estados de desarrollo y durante la floración.

5. Conclusiones

No todos los invernaderos son iguales, y las condiciones regionales deben ser evaluadas de manera que se considere que el objetivo principal de la agricultura bajo plásticos es un mayor abastecimiento de alimentos, menos costoso y más seguro.

El mayor conocimiento del efecto de la luz sobre las plantas, está dirigiendo los nuevos desarrollos de materiales hacia una modificación de la radiación incidente en los invernaderos para producir diferentes efectos como por ejemplo: antigoteo, antibotrytis, antiviral, etc. Los efectos pueden involucrar la reducción en el uso de fitosanitarios con el consiguiente beneficio ambiental. La agricultura intensiva bajo invernadero se está encaminando hacia un mayor control del clima, que implica mejoras en estructuras y en materiales de cubierta, principalmente el PE con mejoras de las propiedades mecánicas y de las propiedades ópticas. Sin embargo, no basta con sólo invertir en un invernadero que cumpla con los requisitos para el manejo de los factores de producción. Lo importante es realizar el control de estos factores, en forma oportuna y aplicando las técnicas adecuadas requeridas para cada cultivo, zona o tipo de instalación. Pero sobretodo con un uso eficiente de los recursos involucrados, tales como mano de obra y otros insumos.

BIBLIOGRAFÍA

ACUÑA, J.F.; GONZÁLEZ, J.H. Uso de plásticos fotoselectivos en la producción de rosa bajo invernadero en la Sabana de Bogotá. VIII Congreso CIDAPA – Buenos Ayres, Argentina 2006.

ACUÑA, J.F.; BRICEÑO, J.F. Efecto del manejo de clima en la incidencia de plagas y enfermedades en cultivos bajo invernadero. VIII Congreso CIDAPA – Buenos Ayres, Argentina 2006.

ALPI, A.; TOGNONI, F. 1999. Cultivo en invernadero. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 1999. 347 pp.

BALLARÉ C. L., A. SCOPELI, J. J. CASAL and R. A. SÁNCHEZ. 2006. Know Thy Neighbor through Phytochrome. Essay 17.3. Plant Physiology, Fourth Edition by Lincoln Taiz and Eduardo Zeiger.

MOLLINEDO V.A.; TAPIA, A.C. Evaluación del efecto de películas para invernadero de fotoselectividad específica sobre la producción de tomate y pimiento. VIII Congreso CIDAPA – Buenos Aires, Argentina 2006.

MONTERO, J.I., ANTÓN, A., MUÑOZ, P. (1999): Modificaciones en las estructuras e instalaciones de invernaderos orientadas a la reducción del impacto ambiental. En "Encuentro Medioambiental Almeriense: en busca de soluciones" Publicado en <http://www.gem.es/materiales/document/document/principi.htm>

ROBLEDO, F.P.; MARTIN, L.V. Aplicación de los plásticos en la agricultura. Madri: Mundi-Prensa, 1981. 552p

http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico2.asp

http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/plasticos.asp

<http://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento.htm>

<http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate.htm>

<http://www.infoagro.com/hortalizas/pepino.htm>