



Facultad de  
Ciencias Agrarias  
y Forestales



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

# Curso de Horticultura y Floricultura

Año 2023 Plan 8i

## **GUÍA DE ESTUDIO CLASE 2: TECNOLOGÍA E INGENIERÍA DE CULTIVOS I. CULTIVO PROTEGIDO**

### **Grupo Docente:**

Prof. Titular: Dra Ing Agr Susana Martínez

Prof. Adjunto: Ing Agr Walter Chale

JTP: Dr Mg Sc Ing Agr Andres Nico

JTP:Mg Sc Ing Agr Mariana del Pino

Ayud. Dipl.: Ing Agr Georgina Granitto

Ayud. Dipl.: Ing Agr Liliana Scelzo

Ayud. Dipl : Ing Agr Adriana Vanina

Ayud Dipl : Ing Agr Armando Castro

Adscripta: Ing Agr Julieta Peñalba

Adscripto: Ing Agr Matías Barrenechea

## Concepto de cultivo protegido

El cultivo protegido es un sistema agrícola especializado en el cual se lleva a cabo un cierto control edafoclimático que rodea la planta. Mediante estas técnicas de protección se cultivan plantas modificando su entorno natural. El sistema de protección utilizado se denomina **semiforzado** cuando actúa durante una parte del ciclo productivo del cultivo (por ejemplo, durante la etapa de almácigo o vivero), mientras que es **forzado** cuando la protección se da durante todo el ciclo.

## Objetivos

Entre los objetivos que se persiguen con la utilización de protecciones para los cultivos, pueden mencionarse:

- Obtener producciones comerciales en zonas donde el clima no lo permite al aire libre
- Producir en épocas distintas de la habitual para una zona, con el fin de obtener ventajas de mercado con productos “fuera de temporada”
- Aumentar las producciones por unidad de superficie y obtener productos de mejor calidad
- Acortar los ciclos de producción, aumentando la cantidad de los mismos por campaña
- Mejorar la calidad y precocidad

## Tipo de protecciones usadas en horticultura y floricultura

### SISTEMAS SEMIFORZADOS

- a) Cajoneras o vidrieras: Estructuras para proteger a las plantas que luego serán trasplantadas al aire libre. Pueden ser de hormigón o madera y cubiertas con vidrio o polietileno. Ancho aproximado: 1,20 m y longitud variable.
- b) Barandilla de paja: La estructura consiste en cubrir con ramas y paja que apoyan sobre bordos y alambres. Se orientan de este a oeste con exposición al norte y una inclinación de 60°. Se usan para proteger al cultivo de los vientos fríos y de las heladas, permitiendo adelantar los cultivos de siembra directa.
- c) Casillas: Se hace normalmente para zapallito de tronco, melón, pepino. Se construyen colocando 3 estacas equidistantes en la base y atadas juntas en el extremo en forma de pirámide. Luego se cubre con paja dejando una abertura al norte.
- d) Barraca cubierta: Se utiliza en cinturones verdes para la obtención de primicias. Las barracas se cubren con polietileno transparente formando una carpa. Se realiza en el momento de trasplante o siembra según la zona.
- e) Micro-tune!: Es una forma de acolchado del suelo que consiste en cubrir a la planta con una lámina de polietileno y protegerla del exterior desde la germinación hasta que adquiere cierto desarrollo.

### SISTEMAS FORZADOS:      **Invernaderos o invernáculos**

Un invernadero es toda construcción formada por una estructura que puede ser de madera, metálica u otro material, cuya finalidad es servir de soporte a una cubierta de vidrio o film plástico. Posee suficiente solidez para resistir los embates del viento y tiene dimensiones que permiten en su interior el desarrollo de las plantas y su manejo.

Hay autores que diferencian como “invernaderos fríos” o “coberturas plásticas” a aquellas estructuras que no tienen control ambiental (climatización para bajas y altas temperaturas, humedad relativa, etc.) e “invernaderos” propiamente dichos o “invernaderos calientes” a los que presentan estas características.

## Factores físicos relacionados con el clima del invernadero

Los invernaderos reciben energía radiante del sol que una vez que atraviesa el material de cobertura actúa elevando la temperatura en el interior del mismo. La transmisión de esta energía depende del tipo de material de cobertura, la forma y la disposición del invernadero.

Entre el interior del invernadero y el clima exterior ocurren intercambios energéticos complejos en los que intervienen todos los modos de transferencia del calor: radiación térmica, conducción y convección. La radiación solar (360 a 2800 nm) luego de atravesar la cobertura, incide sobre el suelo, las plantas o cualquier otro objeto. De esta radiación, una fracción es reflejada desde la superficie interna. Parte de esta radiación reflejada atraviesa la cubierta y parte es reflejada nuevamente al interior del invernadero. El remanente de la radiación que ingresa es transformada en calor en contacto con las diversas superficies, desde donde es liberado hacia el aire del invernadero por convección. Desde la superficie del suelo el calor es conducido en profundidad.

Los materiales utilizados en la cobertura deben cumplir básicamente con dos características:

- Máxima transparencia a la radiación solar de onda corta (360 - 2500 nm) proveniente del sol.
- Máxima opacidad a la radiación infrarroja de onda larga (> 2500 nm) emitida por el suelo, las plantas y las estructuras.

La radiación solar no puede ingresar en el invernadero con total intensidad. La magnitud de esa pérdida de intensidad está sujeta a:

- Efectos de reflexión y absorción de la radiación por parte de la superficie "transparente" del Material de cobertura, dependiendo de la composición química y el espesor del mismo.
- La presencia de superficies opacas propias de la construcción, que no pueden ser atravesadas por la radiación (10% en los casos más desfavorables)
- Deposición de partículas de polvo sobre la superficie, en combinación con la condición del tiempo. Se acentúa con tiempo seco y puede alcanzar a ocasionar una reducción del 4% en áreas no industriales y hasta del 50% en áreas industriales al cabo de 10 meses.

La radiación solar directa es la mayor carga energética que recibe el invernadero. La fracción de radiación que efectivamente llega a los cultivos depende de una serie de factores no modificables como: latitud, época del año, hora del día y topografía del sitio y de factores modificables como: tipo de invernadero, orientación, ángulo de techumbre y el material de cobertura (propiedades ópticas).

La principal variable que determina la intensidad de la componente de radiación solar que incide sobre una superficie y la capacidad de ésta para reflejar, transmitir o absorber los rayos solares es el *ángulo de incidencia*. El ángulo de incidencia es el que existe entre el rayo solar y la línea normal a la superficie de captación. Cuanto más perpendicular a la superficie del techo es el ángulo de incidencia de la luz solar, mayor será el pasaje de luz. Cuanto mayor es la inclinación de los rayos solares, mayor será la reflexión.

### Balance energético del invernadero:

El cálculo del balance energético se puede estimar con distintos grados de aproximación. En la práctica, cuando no se requiera gran sensibilidad en los distintos parámetros a tener en cuenta en el modelo y, por tanto, no se trate de cálculos con finalidades de investigación o desarrollo de determinados productos, se usa el modelo cuasiestacionario, en el cual se asume que las variables de energía y temperatura son constantes durante un cierto período, por ejemplo durante una semana, una hora, un día (en cada caso los datos climáticos y las unidades a emplear deben ser adaptadas).

Resolver la ecuación de balance permitirá conocer, entre otros, los parámetros de consumo y la potencia de calefacción a instalar a partir del diseño de implantación propuesta, la respuesta del invernadero en situaciones meteorológicas críticas, etc.

Para resolverlo sencillamente, esta ecuación se basa en el Primer Principio de la Termodinámica

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{absorbido}}$$

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{cal}} + Q_{\text{sol}} + Q_{\text{re}} \quad Q_{\text{absorbido}} = Q_{\text{cb}} + Q_{\text{rv}} + Q_{\text{ev}} + Q_{\text{fo}} + Q_{\text{te}} \pm Q_{\text{al}}$$

Donde:

$Q_{\text{cal}}$  = calor aportado por sistema de calefacción

$Q_{\text{sol}}$  = energía solar útil =  $\alpha_{s.} \cdot \tau \cdot A_s \cdot I$

Siendo:

$\alpha_{s.}$  = absorbanza de las plantas o superficie del suelo (0,7 a 0,85)

$\tau$  = transmitancia de la cubierta

$A_s$  = superficie captadora ( $m^2$ )

$I$  = radiación solar incidente ( $W/m^2$ )

$Q_{\text{cb}}$  = flujo de energía perdido por conducción, convección y radiación cuyo cálculo se realiza con la siguiente expresión:

$$Q_{\text{cb}} = K \cdot \Delta T$$

Siendo:

$\Delta T = (T_i - T_e)$  Con  $T_i$  = temperatura interior y  $T_e$  = temperatura exterior

$K$  = coeficiente de transmisión térmica del material de cubierta ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )

$$K = \frac{1}{1/h_i + e/\lambda + 1/h_e}$$

Donde:

$h_i$  y  $h_e$  = coeficientes de transporte de calor superficiales interior y exterior ( $W \text{ } ^\circ C/m^2$ )

$e$  = espesor de la cubierta (m)

$\lambda$  = conductividad térmica del material ( $W/m^3 \text{ } ^\circ C$ )

$Q_{\text{rv}}$  es el flujo de calor sensible y latente perdido por la renovación del aire interior y se calcula por:

$$Q_{\text{rv}} = R \cdot V \cdot \lambda_a [C_a(T_i - T_e) + C_i(X_i - X_f) + C_v(X_i T_i - X_e T_e)]$$

Donde:

$V$  = volumen del invernadero ( $m^3$ )

$R$  = renovaciones de volumen de aire (1/h)

$C_a$  = calor específico del aire ( $0,28 \text{ } W/m^3 \text{ } ^\circ C$ )

$\lambda_a$  = peso específico del aire ( $1,3 \text{ } Kg/m^3$ )

$C_i$  = calor latente de vaporización del agua ( $692 \text{ } Wh/Kg$ )

$C_v$  = calor específico del vapor ( $0,53 \text{ } Wh/kg \text{ } ^\circ C$ )

$T$  y  $X$  se refieren a las temperaturas y humedades absolutas interiores y exteriores,

Respectivamente

$Q_{ev}$  es el calor latente consumido en la evaporación de las plantas y en la renovación del aire interior. Su cálculo se realiza mediante su incorporación en la expresión de  $Q_{sol}$ , de modo que:

$$Q_{sol} = \alpha_{a.T.} A_s I (1 - \Psi); Q_{ev} = \alpha_{a.T.} I \cdot \Psi$$

Donde:  $\Psi$  es la proporción de radiación solar que se pierde por evapotranspiración.

$Q_{fo}$  es la energía solar utilizada en la fotosíntesis, cuyo cálculo aproximado es un 3% de la energía luminosa. El calor de la respiración será solamente del 0,3 al 0,4% de la radiación solar existente en un día claro. En muchas ocasiones este término, así como  $Q_{ev}$  no es considerada en los balances energéticos de los invernaderos dada su poca importancia numérica.

$Q_{te}$  es el flujo de calor perdido por conducción a través del suelo, calculado por:

$$Q_{te} = K_{te} \cdot A_t \cdot (T_i - T_e)$$

Donde:

$K_{te}$  = coeficiente de intercambio térmico que se toma habitualmente como  $1,5 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

$A_t$  = área del suelo del invernadero ( $\text{m}^2$ )

$(T_i - T_e)$  = diferencia de temperatura interior y del suelo (aproximadamente  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ )

$Q_{al}$  es la energía almacenada, cuyo cálculo depende del sistema de inercia térmica empleada, y se puede obtener mediante la comparación de balances energéticos diurnos y nocturnos. Un valor de 1/3 del total de energía radiante captada puede ser una aproximación plausible de la capacidad almacenadora del invernadero siempre dependiendo del diseño del mismo.

### **Condiciones microclimáticas de los cultivos en invernadero:**

En general, los invernaderos logran:

- modificar la radiación
- aumentar la temperatura diurna
- aumentar la temperatura nocturna
- mayor amplitud térmica
- aumentar la humedad relativa
- disminuir la acción directa del viento
- asegurar disponibilidad de agua por riego durante todo el año

## **RADIACIÓN**

La luz solar es de importancia fundamental en la fotosíntesis y en las plantas con respuesta fotoperiódica. Esta luz no varía su composición espectral sino que reduce su intensidad cuando penetra dentro del invernadero. Es pues, importante favorecer esta penetración según el tipo de cultivo, dado que un día a pleno sol puede suponer de  $320$  a  $710 \text{ Wm}^{-2}$  y con el cielo cubierto de  $4$  a  $40 \text{ Wm}^{-2}$ .

## **TEMPERATURA**

### Temperatura del suelo

Las condiciones especiales de transferencia de calor en un invernadero, así como la fuerte radiación solar directa absorbida y el intercambio radiativo de onda larga en el interior, hacen que

la capa superficial del suelo (aproximadamente hasta los 15 cm) registre una temperatura más elevada que la exterior, con una oscilación diaria de la misma menor que en el suelo exterior. En invernaderos de gran tamaño, la caída de temperatura del suelo desde el centro hacia los extremos es menor que en los de menor tamaño, como consecuencia del efecto borde.

### Temperatura de las plantas

Las plantas, y especialmente las hojas y tallos, se encuentran bajo condiciones de fuerte insolación, a temperaturas superiores pero próximas a las del aire circundante. Si la radiación solar incidente sobre las hojas es baja y los niveles de transpiración elevados, la temperatura de la hoja puede ser inferior a la del aire ambiental.

Prueba de ello es que, al colocar un termómetro sin protección, durante la noche puede marcar diferentes temperaturas que la del aire, esa temperatura es próxima a esta y se llama temperatura actinométrica, Esta temperatura varía según la cubierta siendo mayores con el plástico que con vidrio. Esta temperatura "Radiativa" representa la temperatura de la planta durante la noche.

Durante el día estas diferencias son mayores dependiendo de la radiación recibida, evaporación, movimiento del aire. Las diferencias pueden ser en toda la planta, o en parte de ellas, existiendo además diferencias entre flores y frutos, favorecidos por el color, etc

De allí que el concepto de integral térmica toma relevancia ya que aplicada a largos períodos nos permite predecir la fenología del cultivo. La misma se basa en que cuanto menor sea la temperatura, menor será la tasa de crecimiento y desarrollo de las plantas. Recordemos que el término "integral térmico" está asociado al "tiempo fisiológico" el que depende de la temperatura base

La situación habitual es que las plantas tengan una temperatura por encima de la correspondiente al aire exterior, debiéndose efectuar controles con relación a las condiciones biológicas más favorables al desarrollo de las plantas.

### **Temperatura diurna:**

Es importante aumentar la temperatura diurna. Sin embargo, en latitudes con inviernos fríos y veranos muy cálidos, pueden ocurrir temperaturas extremas hacia fines de primavera - verano. Los cultivos se ven afectados por:

- mayor respiración de mantenimiento
- daños directos por calentamiento
- establecimiento de fruto nulo o deficiente
- mayor demanda hídrica
- desequilibrio hídrico durante el día, aun con buena disponibilidad de agua

Los cambios de temperatura dentro del invernadero, al igual que la humedad relativa, son muy bruscos y, más aun, en invernaderos vacíos o cultivos recién plantados debido a que no hay influencia del calor latente del agua transpirada por los cultivos. Este aspecto es importante al analizar las plantaciones en épocas cálidas ya que agrava mucho más el "estrés del transplante". Una atmósfera de 10°C tiene una humedad relativa de 60%, al pasar a 25°C la humedad relativa desciende al 25%.

### **Temperatura nocturna:**

Durante la noche los invernaderos no sólo pierden calor por radiación infrarroja lejana, sino por conducción – convección y por renovaciones de aire. Esta última pérdida de calor, en los invernaderos más comunes de nuestro país, es muy alta lo que anula el beneficio de una menor pérdida de radiación infrarroja. Se detectó que existe una diferencia de temperatura mínima entre el ambiente externo y el interno durante el transcurso de la noche.

Las bajas temperaturas nocturnas afectan a los cultivos por:

- congelamiento
- enfriamiento o "chilling"
- polinización deficiente
- establecimiento de frutos nulo, deformes o sin tamaño

## **HUMEDAD AMBIENTAL**

Con el aumento de la temperatura disminuye la humedad relativa del ambiente en ausencia de fuentes de vapor de agua. Por lo tanto, las diferencias de la humedad del aire en el exterior e interior del invernadero pueden explicarse por las distintas condiciones de temperatura que afectan a la humedad relativa y por la falta de mezcla turbulenta en el interior donde reina un régimen de calma y estratificación del aire.

Las fluctuaciones de la humedad absoluta en invernaderos sin ventilación están estrechamente relacionadas con la temperatura del suelo. En un invernadero, la humedad absoluta del aire se eleva si el suelo y las superficies húmedas se calientan, y disminuye si se enfrían (es decir, actúan de fuentes de vapor por evaporación del agua de riego).

La regulación del grado higrotérmico puede efectuarse por variación de la temperatura y/o por ventilación del invernadero, debiéndose adecuar, por supuesto, al tipo de plantas a cultivar en su óptimo biológico.

La transpiración de agua por parte del cultivo tiene una gran incidencia en la higrometría del aire. Un cultivo desarrollado evapora agua más activamente, sombrea el suelo y limita el calentamiento durante el día. Un invernadero sin cultivo y sin riego estará mucho más caliente en un día soleado y as variaciones día /noche de temperatura y HR serán mayores.

Por otra parte, otra forma de expresión de la Humedad es el Déficit de saturación del aire (DPV), esta tiene una mayor utilidad desde el punto de vista biológico, expresa la cantidad de agua que le falta al aire a una cierta temperatura para alcanzar la saturación, cuantifica el poder desecante del aire, este influye notablemente en la evaporación y transpiración

## **EVAPOTRANSPIRACIÓN**

Cuando el suelo de un invernadero tiene una buena provisión de agua, la evaporación en su superficie y en las plantas será comparable a la interfase aire-agua en reposo. Esto es debido a que el escaso movimiento del aire permite obviar procesos de convección haciendo que el déficit sea consecuencia directa de la radiación solar y por tanto, se tiene una gran correlación entre la radiación solar y la evapotranspiración.

Durante el día, el aire del interior del invernadero no se satura, gracias a la aportación energética de la radiación solar y no ocurre lo mismo en las noches de invierno, donde las paredes y las superficies interiores aparecen recubiertas de una película de agua, por lo que es necesario una ventilación, deshumificación o bien procediendo al suministro de energía auxiliar al invernadero para aumentar su temperatura.

## **VIENTO**

En determinadas épocas del año, en que la acción de los polinizadores es nula por las temperaturas bajas en el exterior, los cultivos de polinización entomófila se ven afectados, salvo la utilización de colmenas dentro del invernadero o de reguladores de crecimiento. El viento influye de la misma manera, de acuerdo a las exigencias del cultivo.

## **ANHÍDRIDO CARBÓNICO**

La concentración de CO<sub>2</sub> en el interior del invernadero es menor que en el aire exterior y puede, en determinadas circunstancias, ser tan baja que afecta al crecimiento de las plantas.

Durante la noche, como resultado del flujo de CO<sub>2</sub> desde el suelo, hay una subida en la concentración; durante el día, por el consumo de CO<sub>2</sub> en la reacción de fotosíntesis, la disminución puede ser particularmente intensa. Para evitar el posible déficit de anhídrido carbónico, en ocasiones se puede inyectar artificialmente con cilindros de gas comprimido, por combustión de petróleo o gas propano, etc. El aumento de concentración será función del gradiente de presión de CO<sub>2</sub> entre el invernadero y el exterior. Cuanto mayor sea éste, más rápidamente se perderá el CO<sub>2</sub> del invernadero. Esto se utiliza en especial en cultivos hortícolas y durante la noche. La concentración necesaria de CO<sub>2</sub> para una fotosíntesis adecuada depende principalmente de las

condiciones de luz y temperatura, así como de las características fisiológicas de las plantas, siendo necesario un control para optimizar el proceso de introducción.

## DISEÑO DE INVERNADEROS

### Elementos de consideración en la implantación

#### a) Ubicación

Si bien las condiciones de implantación vienen muy prefijadas por factores de tipo socioeconómico (vías de comunicación y de comercialización cercanas), es interesante tener en cuenta que si el lugar escogido está expuesto fuertemente al viento, se aumentan las pérdidas de calor.

#### b) Orientación y disposición de los invernaderos

Está determinada por el mejor aprovechamiento de la radiación y la dirección de los vientos dominantes. En términos generales se recomienda orientar el eje principal de la estructura en dirección este – oeste para asegurar la máxima llegada de luz al interior.

#### c) Protección al viento de los invernaderos.

La acción del viento tiene acciones negativas para los invernaderos. El intercambio convectivo de calor con el exterior aumenta, y por tanto, las pérdidas energéticas. La tasa de renovación de aire por infiltración crece exponencialmente obligando por ello a proteger las juntas de unión de los distintos elementos de cubierta. Es posible proteger el conjunto exteriormente a través de cortavientos naturales o artificiales como redes de plástico.

### Tipos de invernaderos

La tipología constructiva de un invernadero se caracteriza por: forma, material de estructura y cubierta.

#### Por su forma:

Según el tipo de techo de la construcción, los invernaderos pueden clasificarse como:

- Invernaderos capilla, con el techo a dos aguas
- Invernaderos parabólicos, de techumbre curva
- Invernaderos tipo parral o de techos planos

La forma del invernadero tiene importancia primordial en dos aspectos: la luminosidad interior y la resistencia al viento; siendo importantes la forma del techo y el ángulo de techumbre. Este último es el ángulo formado por la cubierta del techo y la pared lateral e influye en la captación y homogeneidad de la distribución interna de la radiación. Las estructuras de techo curvo son las que permiten lograr mayor transmitancia, seguidas por las de tipo capilla y capilla modificado. En general, la pendiente promedio óptima varía entre 25° y 30°. En cuanto a la homogeneidad de distribución de la radiación, el de mejor comportamiento es el tipo curvo.

#### Por el material de estructura:

Madera	Estructuras menos luminosas Menor conductividad térmica (ahorro energético en caso de calefaccionar) Menores dimensiones libres que las estructuras metálicas: ancho 7 m con postes distanciados 2 a 3 m Fácil de trabajar, cortar, encuadrar en la propia obra
Hierro y acero	Máxima iluminación Máxima anchura libre en naves Mayor facilidad de montaje (a nivel profesional)
Aluminio	Ventajas de construcción pero costo elevado Resistencia a la corrosión Variada forma de perfiles disponibles Relativa debilidad de las soldaduras (50% menos que otras estructuras)



Efecto viento: la velocidad del viento mejora la renovación del aire. Este efecto supera al estático cuando la velocidad del viento es mayor a 1m/s. Cuando la ventilación es cenital, no interesa la dirección del viento.

En los invernaderos sin ventilación cenital, la renovación del aire ocurre solo por efecto estático, por lo que no debería interesar la velocidad del viento. En cambio, en estructuras con ventilación cenital, la renovación del aire se produce por efecto estático y de viento.

La distribución de temperatura dentro del invernadero no es uniforme, sino que se producen perfiles térmicos de acuerdo al tipo de ventilación del invernadero (Cuadro 1). Este perfil es consecuencia de las pérdidas de calor a través del material de cobertura y a la diferencia de densidad del aire caliente y frío

**Cuadro 1:** Comparación de situaciones con y sin ventilación cenital, con sensores térmicos a diferentes alturas

Altura del sensor (m)	Con ventilación cenital (°C)	Sin ventilación cenital (°C)
0,75	37	38,5
1,50	40,1	42,4
2,00	43	46,8
2,50	43,2	50,2
3,00	45	48,2

En general se observa un aumento de la temperatura hacia el techo, más marcado en los invernaderos sin ventilación cenital.

Respecto a la superficie de ventanas, las laterales deben representar del 20 al 25% de la superficie cubierta para que la diferencia entre el exterior y el interior sea mínima. Si se dispone de ventilación lateral y cenital se estima como valor aconsejable el 10% de superficie de ventilación cenital y el 15% de superficie lateral respecto al total de la cubierta (Cuadro 2).

Para que la ventilación sea efectiva con estos porcentajes, es muy importante aumentar la altura de los invernaderos. Las aberturas laterales tienen que comenzar a una altura no inferior a 0,70 m desde el suelo.

**Cuadro 2:** Tasas de renovación y salto térmico (T int. –T ext.) para un conjunto de invernaderos con distinta superficie de ventana en relación con el suelo de cultivo

Tipo de ventilación	Tasa de renovación horaria (Vol. invernadero/hora)		Salto térmico (°C)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Cenital 5%	15	25	8	11
Cenital 10%	35	50	5	7
Lateral 5%	15	25	8	11
Lateral 10%	30	50	5	7,5
Lateral 10% + Cenital 5%	50	70	4	5

**Ventilación forzada:** consiste en establecer corrientes de aire mediante ventiladores o extractores, con lo que se consigue homogeneizar la temperatura con el exterior. El uso de ventiladores permite un control más preciso de la temperatura que el que puede lograrse con ventilación pasiva. Se recomienda que la tasa de ventilación sea como mínimo de  $\frac{3}{4}$  a un cambio total de aire por minuto. Entre las recomendaciones a considerar están:

- Los ventiladores deben hacer circular un caudal de aire previamente calculado a la presión estática de 0,03 Kpascales
- La distancia entre dos ventiladores contiguos no debe superar los 7,5 m para asegurar uniformidad en el flujo de aire
- Siempre que sea posible se deben situar los extractores a sotavento de los vientos dominantes en verano. Si deben ubicarse a barlovento, se debe aumentar el volumen a ventilar por cada extractor en un 10%
- Debe haber una distancia mínima sin obstáculos a la salida del aire de 1,5 veces el diámetro del ventilador

## b) Reducción de la radiación solar que llega al cultivo: sistemas de sombreo

El sombreo es una técnica de refrigeración muy usada en la práctica. Un problema que presenta es que algunos de los productos de sombreo no son efectivos. La reducción de la temperatura se logra disminuyendo el porcentaje de radiación fotoactiva, mientras que el infrarrojo corto llega en exceso a los cultivos. En otros casos, la reducción no causa descenso térmico, por ejemplo cuando se usan pantallas de ahorro de energía durante el verano con el objetivo de sombrear, ya que estas pantallas pueden reducir mucho la renovación de aire.

Si bien los sistemas de sombreo no modifican mucho la temperatura ambiente, varían el balance energético del canopeo y, por lo tanto, disminuyen la temperatura foliar.

Los sistemas de sombreo pueden dividirse en dos grupos:

**Sistemas estáticos:** una vez instalados sombrean el invernadero de una manera constante, sin posibilidad de graduación o control

**Sistemas dinámicos:** permiten un control más o menos perfecto de la radiación solar en función de las necesidades climáticas del invernadero.

### Sistemas estáticos

**Encalado:** el blanqueo de las paredes en base a carbonato de calcio o de cal apagada es un sistema relativamente barato. En zonas de poca lluvia se prefiere el carbonato de calcio porque es más fácil de eliminar por lavado. En zonas más húmedas es preciso usar soluciones de cal apagada. En el aspecto técnico, el blanqueo presenta una serie de inconvenientes:

- Permanencia de la cal en el invernadero durante períodos de baja insolación.
- Consumo de mano de obra para la aplicación y limpieza.
- Imposibilidad de realizar una aplicación homogénea, produciéndose diferencias en la cantidad de luz que llega a las plantas.

**Mallas de sombreo:** suelen ser de polietileno aunque otros materiales como polipropileno, poliéster o derivados acrílicos se usan también. La gama de mallas con distintos % de transmisión, reflexión y porosidad al aire es muy amplia. Existen también materiales aluminizados que presentan la ventaja de reflejar parte de la radiación en calor. Si la capacidad de reflexión se mantiene con el transcurso del tiempo, estos materiales son los más adecuados para climas cálidos. La mayoría de las redes de sombreo son poco selectivas, reducen tanto la transmisión de radiación fotoactiva como la del infrarrojo corto. Sería conveniente reducir al máximo esta última y dejar pasar la primera.

El grado de sombreo de las mallas se elige de manera que al mediodía las plantas reciban una cantidad de radiación cercana a su punto de saturación lumínica. Siempre que sea posible deben situarse las mallas de sombreo en el exterior, aunque así se limita la vida útil de las mismas y se complica la instalación, la reducción de la temperatura es más efectiva. (Cuadro 3)

**Cuadro 3:** Efecto del uso de mallas negras

Tipo de invernadero	Temperatura
Aire libre	33°C
Invernaderos sin sombreo	47°C
Invernadero con malla negra exterior (45%)	41°C
Invernadero con malla negra interior (45%)	50°C

La malla negra absorbe radiación y la convierte en calor dentro del invernadero, calor que debe ser evacuado por ventilación. La malla exterior se calienta con la radiación, pero se refrigera con el aire exterior del invernadero.

Al instalar una red de sombreo se provoca una disminución de los intercambios de aire entre la zona de vegetación y el exterior. Por lo tanto, el sombreo y la ventilación deben ir asociados. Respecto al color de las mallas, la de color negro es la de mayor duración y por eso suele ser la más utilizada. Sin embargo, no es la mejor desde el punto de vista climático (Cuadro 4).

**Cuadro 4:** Efectos combinados de diferentes mallas de sombreo con dos situaciones de renovación de aire

Tipo de sombreo	10 renovaciones (T en °C)	40 renovaciones (T en °C)
Malla aluminizada	30	27
Malla blanca	32	27
Malla negra	36	29
Sin malla	36	28

### Sistemas dinámicos

**Cortinas móviles:** mecanismo que permite abrir o cerrar las cortinas de sombreo en función de los niveles de luz, haciendo un uso mucho más eficiente de la radiación disponible.

**Riego de la cubierta:** algunos invernaderos tienen instalados un sistema de riego en su cumbrera, de modo que es posible crear una película de agua que fluye sobre la pared. Este sistema parece dar mejores resultados para calentar que para enfriar el invernadero. Como método de calefacción se puede usar agua templada (16 a 18°C) que resulta efectiva como medida anti helada. Utilizado como sistema de refrigeración no está libre de problemas como el desarrollo de algas en la cubierta, formación de depósitos sobre el plástico, entrada de agua en el invernadero. Además, no supera en reducción de temperatura a los sistemas clásicos de blanqueo o sombreado.

### c) Refrigeración por evaporación de agua

**Fundamento:** el agua al pasar del estado líquido a vapor absorbe calor. Si el invernadero dispone de un equipo capaz de vaporizar agua, la vaporización absorberá calor del aire del invernadero y bajará la temperatura ambiente.

La evaporación del agua continúa hasta que el aire se satura (humedad relativa del 100%). La temperatura del aire en condiciones de saturación se llama "temperatura húmeda" No es posible bajar la temperatura ambiente por debajo de la temperatura húmeda, puesto que el aire no admite más cantidad de agua en el estado gaseoso. Todo el proceso de saturación transcurre de manera tal que la energía de la mezcla aire y vapor de agua no varía. Se produce un cambio de calor sensible (descenso de la temperatura) por calor latente (aumento del contenido de vapor en la mezcla de aire húmedo) (Proceso adiabático).

Los sistemas de humectación empleados en cultivos protegidos son dos: pantalla evaporadora y las boquillas de nebulización.

**Pantalla evaporadora:** es una pantalla de material poroso que se satura de agua por medio de un equipo de riego. La pantalla se ubica a lo largo de todo un lateral o un frontal del invernadero. En el extremo opuesto se instalan ventiladores eléctricos. El aire exterior entra a través de la pantalla porosa, absorbe humedad y baja su temperatura. Posteriormente, es expulsado por los ventiladores. El rendimiento de un buen equipo es próximo al 85%.

La pantalla puede estar construida con fibras como viruta de madera o con materiales celulósicos en láminas corrugadas. Las de celulosa son mejores pues admiten que se utilicen aguas de no tan buena calidad, no se compactan como lo hacen las de fibra y tienen mayor superficie de contacto. La desventaja es su costo más elevado.

El invernadero debe ser hermético, de tal manera que todo el aire que es forzado por los ventiladores penetre únicamente a través de la pantalla. Si el aire entrara sin recibir el aporte de humedad de la pantalla, el enfriamiento sería ineficaz.

**Nebulización fina:** la nebulización o "fog" consiste en distribuir en el aire un gran número de partículas de agua líquida de tamaño próximo a 10 micras. Debido al escaso tamaño, la velocidad de caída de las gotas es muy pequeña, por lo tanto, permanecen suspendidas en el aire el tiempo suficiente para evaporarse sin llegar a mojar los cultivos. Si las condiciones ambientales hacen que las gotas se depositen sobre las hojas, la cantidad de agua depositada es suficientemente pequeña para no dañar los cultivos.

El elemento más delicado del sistema es la boquilla de nebulización, pues de ella depende la calidad de la instalación. La boquilla recibe agua a presión, la divide en gotas minúsculas y las

dispersa a corta distancia. El movimiento natural del aire redistribuye la humedad. Existen también equipos que fuerzan una corriente de aire y mejoran el alcance de las gotas.

### **Climatización del invernadero en periodos fríos**

Según las metas que se proponga el productor, los costos, la inversión a afrontar y la rentabilidad esperada, pueden considerarse tres niveles de temperatura deseada:

- Lucha contra heladas: evitar que se llegue a la temperatura letal media del cultivo.
- Mantener la temperatura por sobre la que produce daños por enfriamiento del cultivo.
- Mantener la temperatura nocturna en el nivel óptimo para los cultivos

Para lograr estos objetivos se pueden utilizar métodos complementarios, clasificados en:

- a) Materiales de cubierta
- b) Técnicas de ahorro energético
- c) Sistemas de calefacción

### **Materiales de cubierta**

**VIDRIO:** es un material de alta transparencia a las radiaciones solares y muy opacas a la irradiación nocturna. Es un buen aislante térmico y esta característica permanece en el tiempo. De todas maneras, presenta ciertas desventajas que radican en: su elevado peso por unidad de superficie, gran fragilidad, alto costo de mantenimiento y amortización.

**MATERIALES PLASTICOS:** en su mayoría pueden contener una serie de sustancias o aditivos que son aplicados durante el proceso de fabricación y permiten mejorar las cualidades del material.

Entre ellos se pueden encontrar aquellos que reducen la diferencia entre la tensión superficial de la gota y del material, evitando la condensación en forma de gotas, y favoreciendo la formación de una capa de líquido continuo. Así se suprime el goteo sobre los cultivos y aumenta la transmitancia, debido a la ausencia de gotas que reflejen la luz (materiales antigoteo).

Otras aplicaciones implican filtros foto selectivos fluorescentes que reducen la intensidad de las radiaciones en la banda verde (0,5-0,6  $\mu\text{m}$ ) en beneficio de la banda roja (0,6-0,7  $\mu\text{m}$ ).

También es posible incorporar tratamientos que aumenten la resistencia a las radiaciones ultravioletas que actúan acelerando el envejecimiento del plástico. De esta manera se incrementa la duración del mismo pero debe considerarse que un tratamiento anti UV puede reducir la transmisión de la radiación entre un 5% y un 7%.

1. **POLIETILENOS DE BAJA DENSIDAD:** son los utilizados para la fabricación de acolchados, túneles, invernaderos, tuberías, etc.
  - **POLIETILENO NORMAL O CRISTAL:** incoloro, no posee resistencia al UV ni retención térmica (escapa el 60-70% de la radiación). Vida útil menor a un año. Puede usarse en almacigos, túneles, doble techo, viveros).
  - **POLIETILENO NEGRO:** similar al anterior con el agregado de negro de humo, lo que hace que en absorba la luz UV en un 1-2%. Absorbe radiaciones visibles sin transmitir las y la infrarroja larga, también con baja transmisividad. Se usa para acolchado y como regulador del fotoperiodo.
  - **POLIETILENO BICAPA (Blanco/negro):** presenta una cara negra que va en contacto con el suelo y le confiere total opacidad y alta resistencia al UV y una capa blanca que se expone al ambiente y evita el exceso de temperatura y favorece el proceso fotosintético de las hojas inferiores por sus características reflexivas.
  - **POLIETILENO LARGA DURACION:** de mayor resistencia que el polietileno normal debido a la presencia de inhibidores del UV. Puede ser incoloro o no.
  - **POLIETILENO TERMICO:** Retiene el 80% de la radiación infrarroja. Vida útil: 2 o 3 campañas.
2. **POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD:** son materiales más rígidos, de aplicación en tuberías, envases, redes para cortinas rompe vientos, etc.
3. **POLICLORURO DE VINILO (PVC)**
  - **FLEXIBLE:** material rígido que por el agregado de plastificantes se vuelve flexible. Contiene aditivos anti-UV, antioxidantes, colorantes, etc. Existen materiales fotoselectivos. Pueden encontrarse azules y rojos. Ambos colores reducen la transmisión de las

radiaciones verde – amarillo. Con el PVC azul se consigue 1-2°C menos en las horas de máxima luminosidad, pero lo más importante es que el cultivo se desarrolla mejor en el sentido horizontal (tallos menos largos, mayor peso de hojas, raíces y tallos). Se usa en semilleros, cultivo de hojas y tubérculos. El PVC rojo se recomienda en cultivos de tomate, pimiento, frutilla, sandía y flores. También existe el PVC negro para acolchado del suelo.

- RIGIDOS: se emplea en forma de placas (generalmente onduladas) que no llevan plastificantes pero sin estabilizantes, inhibidores de UV, antioxidantes y colorantes.
4. POLIPROPILENO: plástico tejido que puede utilizarse para cubierta de invernaderos, bolsas, cajas de recolección, redes, cuerdas, antigranizo. Tiene una duración de 3 años. Cuando se utiliza para sombreado reduce la temperatura 7° a 8°C cuando al sol la misma supera los 40°C. Su capacidad de interceptar la luz solar depende del grado del tramado, pudiendo llegar hasta el 85%.
  5. VIDRIO ACRILICO: (polimetacrilato de metilo). Gran resistencia a rayos UV, nieve, granizo. Se presenta en forma de placas incoloras.
  6. POLICARBONATO: también se presenta en placas. Su cara externa está protegida de los rayos UV y es opaco a las radiaciones de onda larga. Es relativamente flexible lo que permite su uso en invernaderos semicilíndricos.
  7. POLIESTER: material que viene reforzado con fibra de vidrio. Se presenta en placas lisas, onduladas o con nervios de distinto tipo. Posee buena transparencia, resistencia a la rotura y alta duración (8-15 años). Los agentes atmosféricos pueden erosionarlas provocando en forma relativamente rápida su opacidad.
  8. FILMES DE POLIETILENO FOTODEGRADABLES: el uso de polietileno para acolchado del suelo ha provocado el problema de su eliminación posterior a la cosecha, dado que los microorganismos no lo atacan y el oxígeno apenas. Por lo tanto se buscó la manera de utilizar las radiaciones UV para este fin. El mismo aditivo anti - UV que en un principio tiene un efecto estabilizante, luego de cierto tiempo sometido a la radiación se transforma en un agente agresivo que ataca al polímero. El proceso de desintegración química va desde la división del film en trozos hasta volverse un fino polvo y con el tiempo puede ser atacado por el agua y microorganismos.
  9. MANTAS AGROTEXTILES: constituidas por fibras o filamentos muy finos (20-25 µm de espesor). Se fabrican a partir de polipropileno, poliéster o poliamidas. El empleo de estas mantas tienen un efecto intermedio entre un cultivo al aire libre y semiforzado, disminuyendo los riesgos climáticos, aumentando la temperatura, protegiendo contra vientos, roedores, insectos y mejorando la calidad de las hortalizas (zanahoria, lechuga, apio, endivia, melón, etc.). Vida útil: 2 campañas.

### **Técnicas de ahorro energético**

#### **Pantallas térmicas:**

Características de las pantallas:

- Se prefieren materiales que no sean rígidos para facilitar el plegado y desplegado
- Deben ser permeables al agua para que no se formen bolsas de condensación
- Anticondensación: las pantallas con estructuras de tejido previenen la formación de grandes gotas que pudieran caer sobre el cultivo. Esto no ocurre con pantallas de film plástico.
- Resistencia al rasgado: debe resistir el rozamiento sobre los alambres y cables de soporte
- Aluminizado: es mejor que tengan aluminio por las dos caras, pero son las de precio más elevado. Si tiene aluminio en una cara es aconsejable que sea la que mira al exterior.

Efectos de las pantallas:

*Sobre la temperatura de la planta:* como la pantalla reduce la radiación térmica perdida por el cultivo, la temperatura de las hojas aumenta aproximadamente en 1°C.

*Sobre la temperatura del techo:* la pantalla reduce la temperatura del techo. Ello da lugar a mayor formación de condensación. En países muy fríos se puede llegar a congelar la condensación.

*Sobre la tasa de infiltración de aire:* si la pantalla está bien instalada se reducen las pérdidas por infiltración. El viento afecta menos a las pérdidas de calor de los invernaderos que tienen una pantalla.

*Sobre la humedad ambiental:* al ser el invernadero más hermético la humedad aumenta. Esto puede perjudicar algunos cultivos.

*Sobre la luz que llega al invernadero:* durante el día la pantalla queda abierta y sombrea parcialmente la zona de cultivo. Se debe cuidar que la pantalla quede bien replegada.

*Sobre la temperatura en verano:* durante los días cálidos la pantalla se puede usar también para sombrear el cultivo. Sin embargo, el efecto beneficioso del sombreado se contrarresta con la reducción de ventilación que ocasiona la pantalla. LA PANTALLA ÓPTIMA PARA EL INVIERNO NO ES LA ÓPTIMA PARA EL VERANO.

*Sobre la temperatura de un invernadero sin calefacción:* cuando el cultivo no cubre el suelo, la temperatura mínima aumenta en 3-4°C. Cuando el cultivo está desarrollado, la mínima aumenta en 2°C aproximadamente.

*Sobre el ahorro de energía:* las pantallas se suelen instalar para ahorrar consumo de calefacción.

**Paredes dobles:** consiste en instalar otra película, generalmente de polietileno de 50 ó 100 micras de espesor, separada unos centímetros de la cubierta principal. La separación óptima entre ambas películas está entre 2 y 10 cm. Si se aumenta la separación no se mejora la reducción de pérdidas térmicas, puesto que el aire confinado en la pared doble puede moverse con mayor facilidad. La separación de ambas láminas por medio de aire a presión es una variante mejorada del sistema anterior.

**Cortavientos:** su eficacia depende de:

- la permeabilidad
- la altura
- la homogeneidad

Permeabilidad: el viento no debe ser parado bruscamente pues pueden originarse torbellinos a una distancia de dos veces la altura del cortaviento. La permeabilidad recomendada debe estar en un 50%.

Altura: se protege 15-20 veces la altura del cortaviento. Esta debe ser al menos igual a la altura de la cumbrera del invernadero.

Homogeneidad: para asegurar una buena protección el cortaviento debe estar bien poblado desde la base hasta arriba.

**Energía solar pasiva:** se refiere a la conversión de energía solar en energía térmica. La energía solar absorbida durante el día se utilizaría para cubrir las necesidades de calefacción en los días en que las temperaturas exteriores son bajas y debería ser almacenada para cubrir las necesidades nocturnas, esta segunda parte requiere resolver problemas técnicos de conversión de energía solar a térmica y su almacenamiento para su posterior utilización. Algunas alternativas son:

- Paneles solares ubicados en el exterior del invernadero
- Estructuras dentro del invernadero (colectores solares)
- Invernaderos hidrosolares

Los colectores solares más simples son mangas de polietileno transparentes llenas de agua. Estas mangas se localizan en el suelo entre las filas del cultivo. Por debajo de ellas se recomienda colocar un film de polietileno negro que absorbe la radiación solar contribuyendo al calentamiento del agua. Se aconseja como diámetro más adecuado de manga alrededor de 30 cm, con polietileno transparente de 200-250 micras y conteniendo 80 a 100 m<sup>3</sup> de agua cada 1000 m<sup>2</sup> de invernadero, debiéndose cubrir el 35 al 40% de la superficie del invernadero. La elevación media de temperatura observada es de 1°C. La desventaja es que cuando el cultivo comienza a crecer, el sistema pierde efectividad por el sombreado.

Los invernaderos hidrosolares son una experiencia llevada a cabo en Israel. El invernadero actúa como colector solar. El principio consiste en obtener energía térmica a través del agua que ha sido previamente calentada por el aire caliente del invernadero. Para lograr esto, el aire es conducido a través de una cámara intercambiadora de calor y en esa cámara, una serie de boquillas producen una aspersión de agua sobre el aire caliente que entra por la parte superior, produciéndose una cesión de calor del aire al agua. El aire sale por la parte inferior de la cámara ya frío. Durante la

noche el aire frío del invernadero es calentado por el agua caliente. Una ventaja de este sistema es que puede funcionar como sistema refrigerante durante el día.

### c) **Sistemas de calefacción**

El calor cedido por la calefacción puede ser aportado al invernadero por convección o conducción. Por convección al calentar el aire del invernadero y por conducción si se localiza la distribución del calor a nivel del cultivo.

#### **Sistemas por convección:**

- Tuberías aéreas de agua caliente
- Aerotermos
- Generadores de aire caliente
- Generadores y distribución del aire en mangas de polietileno

Tradicionalmente se han utilizado los sistemas de calefacción aérea con distribución en tuberías de agua caliente. El cálculo del sistema es muy simple y se basa en la cantidad de calor disipado por unidad de longitud de la tubería. Los sistemas que utilizan el aire como fuente de distribución del calor como aerotermos o generadores se usan en los casos en que interesa mantener el salto térmico mínimo o solo para casos de emergencia, heladas puntuales o zonas de inviernos suaves. La distribución del aire caliente se mejora en el caso de generadores de aire mediante la utilización de mangas de polietileno con orificios.

Ventajas:

- rápida respuesta en cambios de temperatura
- regulación sencilla de la temperatura
- eficiencia térmica alta

Desventajas:

- alto consumo
- distribución más irregular del calor
- alto consumo de energía eléctrica para los ventiladores

**Tuberías aéreas de agua caliente:** el sistema está provisto de una caldera donde el agua se calienta y circula simplemente por gravedad, es decir, por diferencia de densidad que hay entre la que sale de la caldera y la que entra (circulación pasiva). También puede disponerse de una bomba (circulación forzada). En el primer caso se requiere que exista un desnivel entre la caldera y el invernadero y el uso de cañerías de gran diámetro (4´).

**Aerotermos:** basa su funcionamiento en un calentamiento convectivo. Posee un intercambiador de calor constituido por tubos en los que circula agua caliente (que actúan como radiantes) y un ventilador que impulsa el aire que se calienta, provocando un flujo continuo de intercambio.

**Generadores de aire caliente:** este sistema ofrece dos posibilidades:

- 1) El aire caliente pasa directamente del generador al interior del invernadero, donde se difunde por convección. Los gases de descarga se eliminan a través de una chimenea. Hay equipos más simples cuya finalidad es lograr una calefacción de socorro.
- 2) El aire caliente mezclado con los gases de descarga se hace circular en el invernadero y luego se elimina a través de tuberías especiales que los descargan en el exterior. Se favorece la circulación de aire por medio de un ventilador que puede estar al principio o al final.

**Sistema por conducción:** se basan en tuberías de agua caliente, las diferencias entre ellos se encuentran en la temperatura del agua y su localización.

- En el suelo a nivel del cultivo
- Por tuberías enterradas
- Por banquetas

**Calefacción del suelo:** es una técnica compleja pues debe tener en cuenta, no solo el aspecto fisiológico de la relación de temperatura del suelo y del ambiente, sino también el mecanismo de

transferencia de calor y la capacidad de almacenaje del suelo y el cambio de las propiedades físico - químicas del suelo inducidas por el calor.

Se emplean tuberías enterradas de polietileno, PVC y cloruro de polivinilo. Las tuberías de distribución del calor, ya sean enterradas o apoyadas sobre el suelo, deben tener una longitud máxima de 120 m desde el punto de conexión con la tubería de alimentación hasta la conexión con la tubería general de retorno. La velocidad del agua dentro de las tuberías debe estar entre los 0,5 y 1 m/s para garantizar homogeneidad en la temperatura, buena cesión del calor y evitar las pérdidas de carga.

**Calefacción por banquetas:** su uso se limita a la producción de plantas en macetas y consiste en tubos de polietileno, polipropileno, etc. por los que circula agua caliente.

## REGULACIÓN DE LA HUMEDAD

Para la humidificación de la atmósfera puede recurrirse a una batería de humidificadores colocados en el invernadero de manera de lograr una buena distribución de la humedad. Son aparatos de tipo centrífugo capaz de pulverizar 7 a 40 litros de agua por hora. Se puede también humedecer la atmósfera aplicando a los generadores de aire caliente un sistema especial de humidificación.

## REGULACIÓN DE LA ILUMINACIÓN

Se entiende por luz (espectro visible) la banda del espectro electromagnético comprendida entre 360 nm y 760 nm, correspondientes a las longitudes de onda del rojo y el violeta; pero cuando se trata de luz para plantas se aceptará el término desde los 320 nm hasta los 800 nm, aceptando que existe una relación importante entre el ser vivo y la radiación desde el UV hasta el IR cercano. La luz, en este sentido, además de los fenómenos fotosintéticos, tiene una acción reguladora sobre el desarrollo y el crecimiento de las plantas.

En los cultivos bajo invernadero deben cuidarse los mínimos de intensidad luminosa, así como el número de horas necesario con ese mínimo de intensidad.

*Sistemas de iluminación utilizados en invernaderos:*

Si bien resulta imprescindible la instalación del invernadero en lugares de luminosidad abundante, la iluminación artificial puede resultar interesante desde el punto de vista del fotoperiodo o como iluminación suplementaria de la luz natural. Mediante la iluminación fotoperiodica se trata de modificar el periodo natural y puede hacerse:

- 1) Iluminando antes del amanecer o después del anochecer. Para esto no se requiere una alta intensidad.
- 2) Rompiendo el periodo de oscuridad nocturna, iluminando con alta intensidad durante aproximadamente una hora. Esto resulta ventajoso cuando el cultivo requiere días cortos de iluminación, pudiendo realizarse con lámparas fluorescentes (250 a 300 lux).

Otro tipo de iluminación artificial puede ser el complementario que trata de incrementar la intensidad luminosa durante el día, habitualmente en invierno, cuando la intensidad natural no es suficiente para el cultivo.

*Equipamiento de fuentes luminosas*

En el momento de plantear la iluminación del invernadero debe decidirse previamente:

- Finalidad: fotoperiodo o complementario
- Fuente luminosa: potencia  
distribución espectral emitida  
rendimiento luminoso  
costo

Tipos de fuentes luminosas:

- 1) Incandescentes: emite luz roja e infrarroja, se usan como complementaria y favorecen el alargamiento de tallos.
- 2) Fluorescentes: las no monocromáticas se pueden utilizar como suplementarias y con fines fotoperiodicos interrumpiendo la noche. No son muy utilizadas en invernaderos. Las monocromáticas, que presentan una banda estrecha de frecuencias de emisión de luz. En invernaderos se usan las lámparas de sodio que emiten en la zona del amarillo. Se utilizan

como suplementarias. También son habituales para ese uso las fluorescentes de mercurio que emiten un espectro más amplio y de mayor intensidad. Ambas presentan el inconveniente de su elevado costo de adquisición.

*Algunos ejemplos de aplicación práctica:* en general se utilizan en el cultivo de plantas ornamentales o florales

*Cattleya:* se emplea la iluminación fotoperiódica para retrasar la inducción floral y concentrar la producción. El tratamiento consiste en aplicar durante toda la noche ciclos de 5´de luz y 55´de oscuridad. Resulta suficiente una intensidad de 100 a 200 lux.

*Lilium:* fotoperiodos cortos y baja intensidad luminosa determinan fenómenos de abscisión y aborto de yemas florales. Esto, en algunas latitudes, puede prevenirse con iluminación suplementaria.

## **Bibliografía**

- 1) Alpi, A.; Tognoni, F. 1991. Cultivo en Invernadero. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España.
- 2) Bernat Juanos, C.; Vitoria, J. J. A.; Martínez Ros, J. 1990. Invernaderos: Construcción, manejo, rentabilidad. Editorial Aedos. Barcelona. España.
- 3) Bouzo, C.; Gariglio, N. 1996. Elementos y factores del clima de invernaderos. Tipos de invernaderos. Parámetros de diseño y captación de energía solar en invernaderos II Curso de producción de hortalizas bajo invernadero "Principales técnicas". Facultad de Agronomía y Veterinaria. Esperanza. Universidad Nacional del Litoral. p: 1-21.
- 4) Castilla, Nicolás. INVERNADEROS PLASTICOS: Tecnología y manejo. Ediciones Mundi Prensa .2005 DE CULTIVOS
- 5) Gariglio, N.; Bouzo, C. 1996. Climatización de invernaderos. II Curso de producción de hortalizas bajo invernadero "Principales técnicas". Facultad de Agronomía y Veterinaria. Esperanza. Universidad Nacional del Litoral. p: 22-40.
- 6) Matallana Gonzalez, A.; Montero Camacho J.I. 1993. INVERNADEROS. Diseño, construcción y ambientación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España.
- 7) Montero Camacho, J. I. 1999. Climatización de invernaderos durante períodos fríos y cálidos. 8ª Jornada Sobre Cultivos Protegidos. Facultad de Cs. Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.