

El control de la incidencia de luz influye enormemente en el éxito de los cultivos bajo invernadero.

La radiación solar en invernaderos mediterráneos

HERNÁNDEZ, J.¹,
ESCOBAR, I.², CASTILLA, N.³

1 Univ. Almería

2 Est. La Nacla. Caja Rural Granada

3 CIFA-Granada



Introducción

La radiación solar es la fuente de energía usada por las plantas en el proceso de fotosíntesis, mediante el cual producen materia vegetal creciendo y desarrollándose. Parte de esta materia vegetal es el producto cosechado del cultivo (sea fruto, hoja, tallo o raíz). Así, existe una relación di-

recta entre la cantidad de radiación solar que un cultivo ha recibido (suele medirse en horas de sol, como primera aproximación) y la cosecha que podemos obtener de él si lo cultivamos correctamente (Cockshull, 1989).

Las zonas costeras mediterráneas tienen una gran cantidad de días soleados, incluso en in-

vierno, lo que las hace potencialmente más productivas que otras zonas con menor número de horas de sol (por ejemplo, los países centro y norte europeos). Hace pocos años era un comentario habitual que en nuestra área mediterránea sobraba luz para la producción hortícola. Esto no es cierto, ya que, especialmente en los me-

ses de otoño e invierno, la radiación es, también en nuestro entorno, un recurso limitante para la producción (Hanan, 1991), pues, aunque tenemos días soleados, estos no son lo suficientemente largos (horas de sol limitadas) y la intensidad con la que llega la radiación en estas épocas está por debajo de las exigencias de los cultivos hortícolas usuales. Es necesario, por tanto, aprovechar al máximo este recurso gratuito para aumentar nuestras producciones, sobre todo en otoño e invierno.

La radiación solar. Conceptos básicos

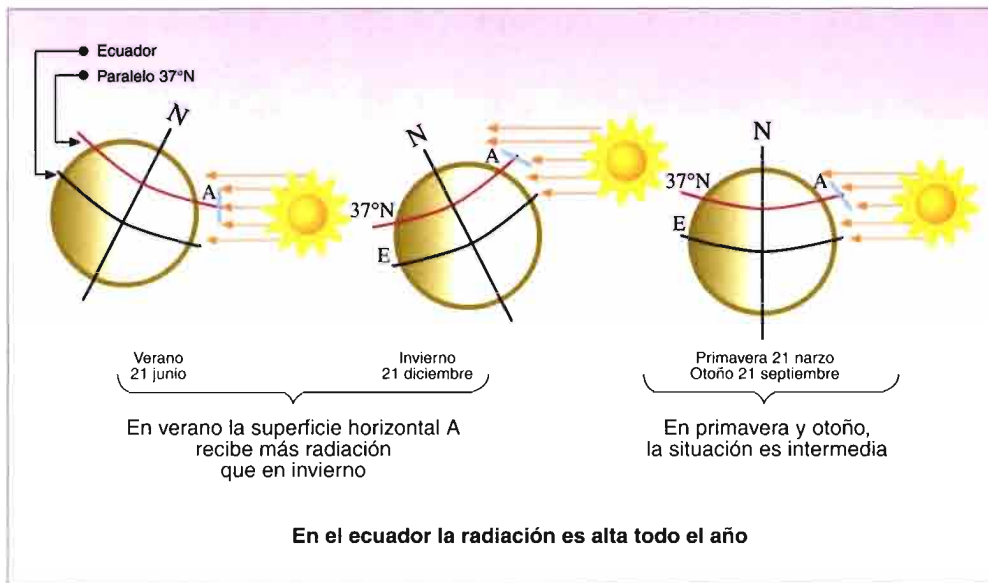
La parte de la radiación solar que proviene directamente del sol (en línea recta) se denomina radiación directa. La radiación difusa es la que proviene de diversas direcciones al haber sido reflejados, desviados o dispersados los rayos solares por las nubes, la turbidez atmosférica, los accidentes topográficos o simplemente difundidos al atravesar un material transparente o traslúcido (plástico, por ejemplo, en un invernadero). La suma de radiación directa y radiación difusa constituye la radiación solar total o global.

La radiación solar directa sigue una trayectoria recta (con mínimas desviaciones al atravesar la atmósfera terrestre), es decir, sigue una dirección (proveniendo del sol), mientras que la radiación

■ **La “calidad” de la radiación solar recibida es muy importante para las plantas. La atmósfera que rodea al globo terráqueo filtra la radiación del sol limitando sus componentes nocivos y alterando, por tanto, su “calidad” en la superficie terrestre**

Figura 1:

Esquema de incidencia de la radiación (luz) solar directa al mediodía en verano, invierno y primavera u otoño. Latitud 37°N (Costa de Granada)



solar difusa es “adireccional”, procediendo de toda la bóveda celeste.

La “turbidez” de la atmósfera contribuye a aumentar la proporción de radiación difusa en detrimento de la radiación directa. En un día nublado, la radiación solar es, en su mayor parte o en su totalidad, radiación difusa. En un día soleado, prevalece la radiación directa sobre la difusa si el sol tiene una cierta elevación sobre el horizonte. Cuando la elevación del sol es pequeña, en un día soleado, puede prevalecer la radiación difusa.

La radiación difusa (por su carácter “adireccional”) penetra mejor entre la vegetación que la radiación directa, pues con ésta el sombreado de las hojas superiores sobre las hojas inferiores de las plantas es mayor que con la radiación difusa.

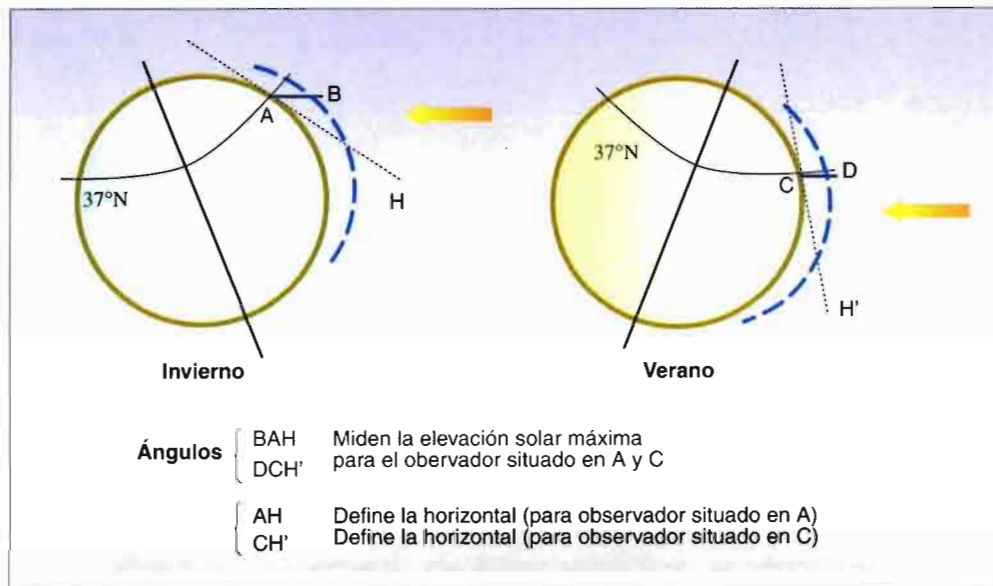
Una parte de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra tras atravesar la atmósfera terrestre es visible por el ojo humano. Esta radiación solar visible coincide, aproximadamente, con la radiación (llamada radiación

PAR) útil para la fotosíntesis. Otros componentes de la radiación solar son la radiación infrarroja, que aporta gran cantidad de energía (contribuyendo a calentar los objetos que la reciben), y la radiación ultravioleta, que tiene gran importancia en el envejecimiento de los materiales plásticos de los invernaderos. La “calidad” de la radiación solar recibida es muy importante para las plantas. La atmósfera que rodea al globo terráqueo filtra la radiación del sol limitando sus componentes nocivos y alterando, por tanto, su “calidad” en la superficie terrestre.

Bajo condiciones predominantes de radiación (luz) directa, los cuerpos proyectan una sombra que se va moviendo durante el día conforme se modifica el ángulo solar; este es el principio que utilizan los relojes de sol. La forma de la sombra es función de la forma del objeto y del ángulo de los rayos solares. Sin embargo, bajo radiación (luz) difusa, las sombras que se producen son poco definidas y no recuerdan la forma del objeto, ya que la luz procede

Figura 2:

En invierno los rayos solares deben atravesar mayor espesor de la atmósfera terrestre (al hacerle de modo más oblicuo, tramo AB) que en verano (tramo CD). La figura lo representa al mediodía solar (momento del día en que el espesor de la atmósfera terrestre que atraviesa los rayos solares es menor



de toda la bóveda celeste. Desde el punto de vista de los cultivos, la radiación directa es mayoritariamente recibida por las partes más altas de éstos, sombreando las partes bajas que disponen de menos luz, por lo que queda limitada su capacidad productiva. La radiación difusa, no obstante, al ser "adireccional", penetra mejor entre el cultivo, en especial entre las hojas inferiores. La presencia de nubes reduce notablemente la cantidad de radiación, a la vez que incrementa la proporción de radiación (luz) difusa en detrimento de la directa.

Influencia de la posición solar sobre la radiación

La cantidad de energía solar que llega a un punto de la superficie terrestre depende de la inclinación con que los rayos solares inciden sobre la superficie, ya que cuanto más perpendiculares sean dichos rayos (a la superficie te-

EFICACIA EN RIEGO

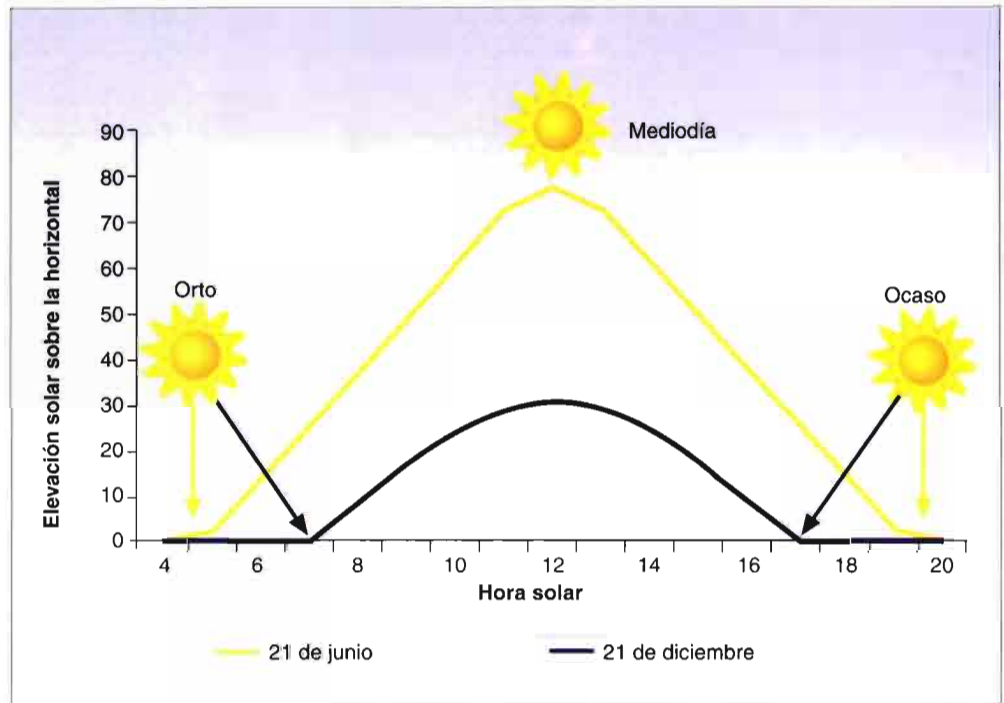
- Tubерias emisoras
- Tubерias microirrigación
- Tubерias polietileno y accesorios
- Goteros y accesorios
- Sistemas de gestión integrada

Twin Drops

Tel: (34) 965 28 88 51 - 965 28 85 17
 Fax: (34) 965 11 44 39
<http://www.twindrops.es>
 e-mail: twindrop@arrakis.es

restre), mayor será la intensidad de radiación solar. La mayor o menor perpendicularidad de los rayos solares varía con la situación del sol, que depende de la localización geográfica (latitud del lugar), de la época del año en la que nos encontremos y de la hora del día. Por ejemplo, en la costa granadina nos encontramos a unos 37° de latitud norte, lo que implica que los rayos solares en verano incidan más perpendiculares a la superficie (más verticales) que en invierno (figura 1) y que su intensidad sea mayor. Debido a nuestra elevada latitud, en ningún momento del año los rayos solares incidirán totalmente verticales (perpendiculares a la horizontal). En invierno, además, los rayos solares deben atravesar mayor espesor de atmósfera terrestre (figura 2). El 21 de diciembre es el día del año en que menos radiación solar recibimos (en ausencia de nubes y con atmósfera limpia),

Figura 3:
Evolución horaria de la elevación solar a latitud 37°N



El nuevo sistema Compact de Sinclair

para etiquetar platonos y alveolos de una sola pasada

El nuevo sistema Compact de Sinclair es muy versátil:

- etiqueta todos los formatos de platonos y alveolos más comunes de una sola pasada
- se puede instalar en cualquier cinta transportadora sin necesidad de realizar ningún tipo de modificación.
- se programa de forma totalmente automática:
 - posición de las etiquetas
 - posición del fuelle
 - reconocimiento de patrones A y B (por medio del software)
- reduce el tiempo de inactividad
- aumenta la producción

El nuevo sistema Compact de Sinclair conserva:

- tecnología altamente sofisticada con etiquetado de polietileno y fuelles sistema Sinclair
- servicio completo del sistema Sinclair:
 - instalación
 - pedido y suministro de etiquetas
 - formación de los operadores
 - servicio técnico y mantenimiento de la maquinaria



NUEVA UBICACIÓN

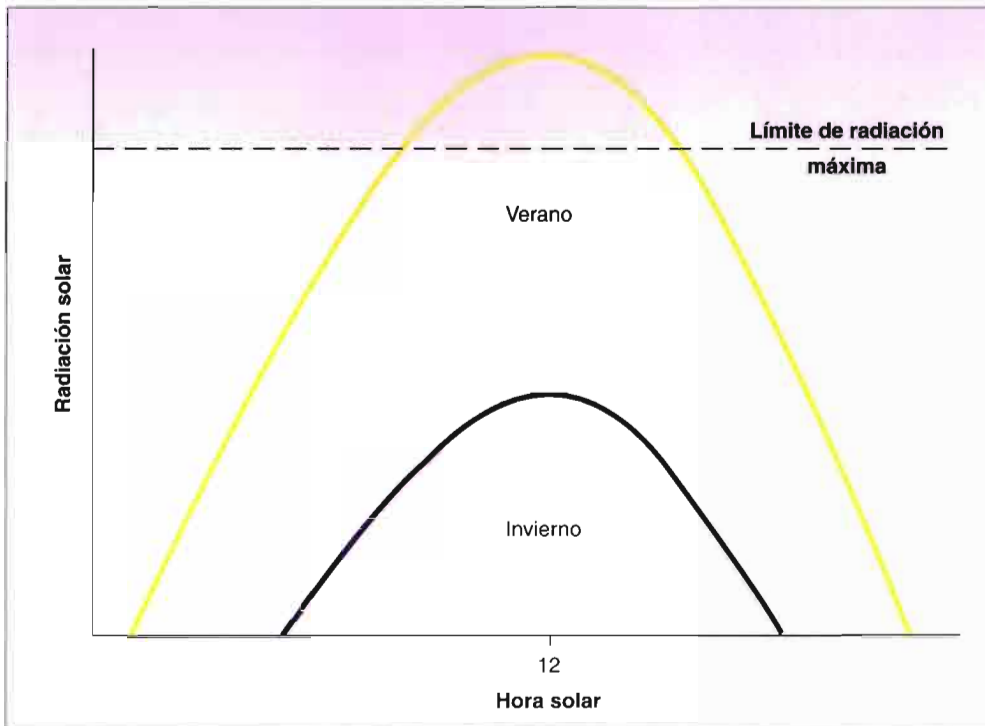


El agente exclusivo de Sinclair en España es:

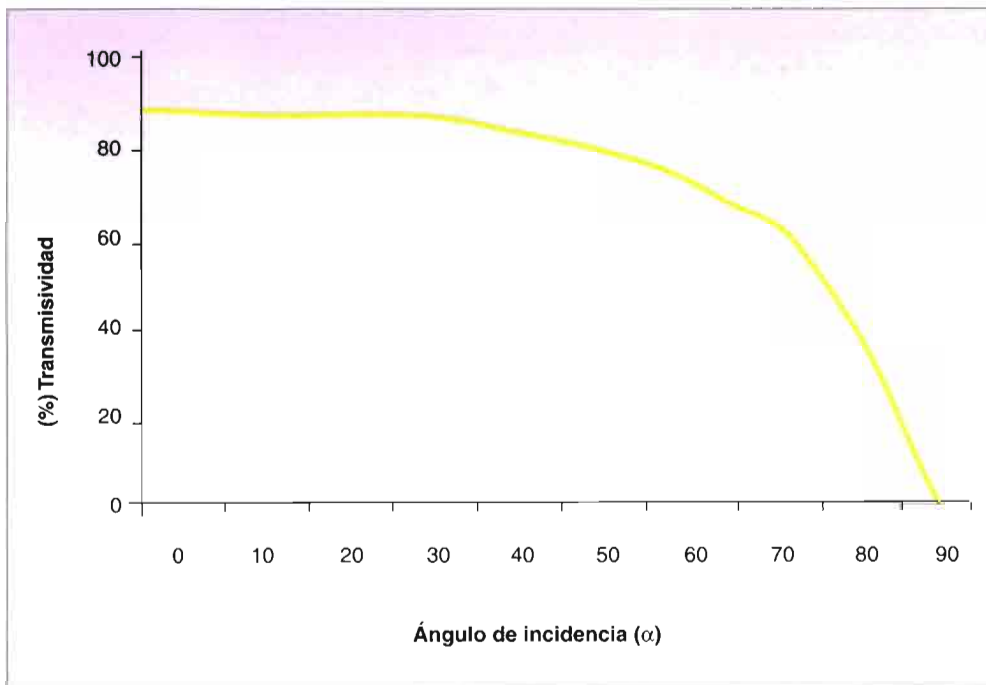
S.a.s.i.l. Ibérica
C/ Quadrat, nº 5
Polígono Industrial de Rafelbuñol
46138 Rafelbuñol (Valencia) España
Tel.: +34 96 1414187
Fax: +34 96 1414063
sasilesp@sinclair-intl.com
<http://www.sinclair-intl.com>

Figura 4:

Radiación bajo invernaderos en invierno (21 diciembre) y verano (21 junio). Días soleados

**Figura 5:**

La transmisividad a la radiación directa es función del ángulo con que inciden los rayos solares sobre la cubierta (plástico tricapa nuevo de 0,2 mm de espesor)

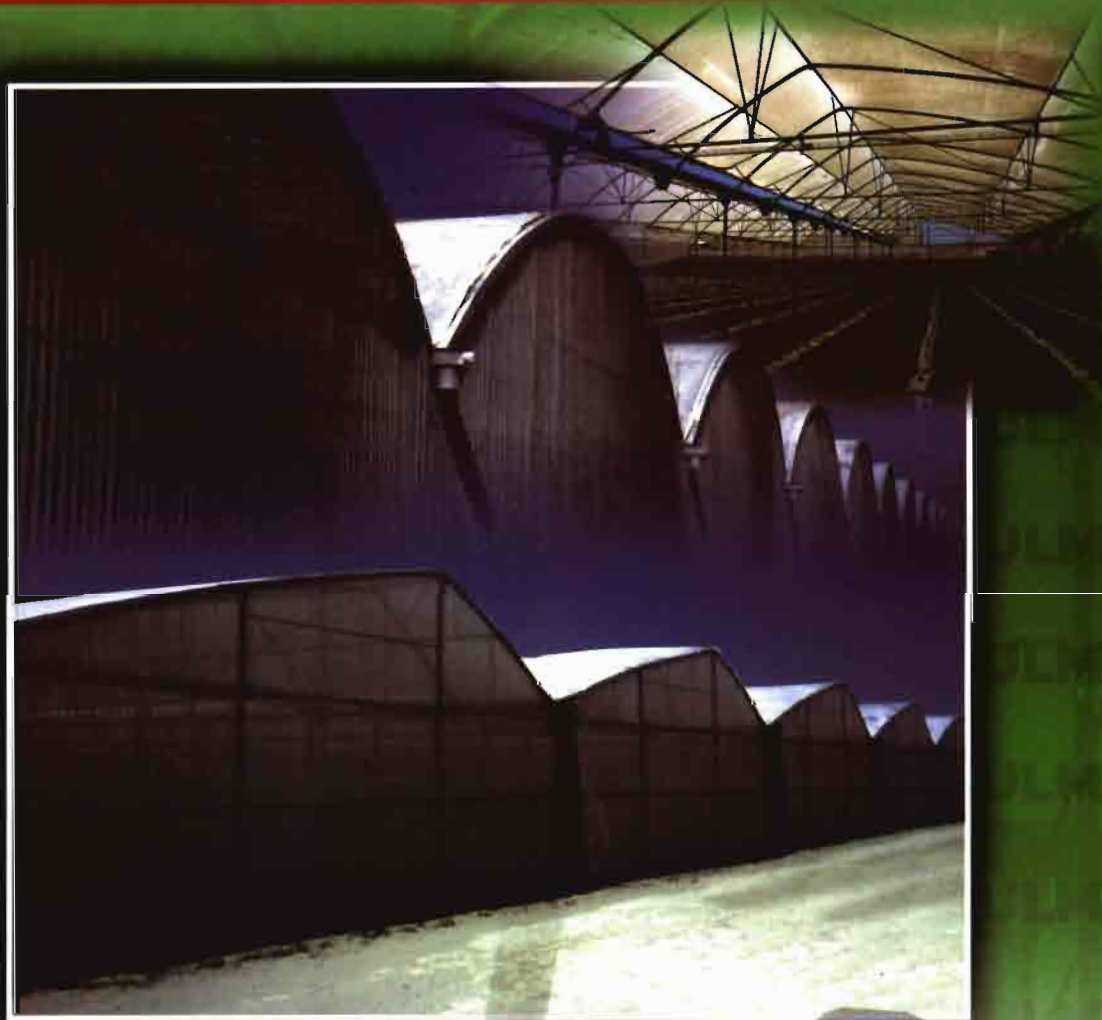


puesto que la máxima elevación solar sobre la horizontal en ese día es de alrededor de 30° (en la latitud 37° N) y el número de horas de sol es de unas nueve (figura 3). Al contrario ocurre el día 21 de junio, que será el día de mayor duración del año (con más de quince horas de luz) y unos 78° de máxima elevación solar. Esto, unido a la nubosidad y otros factores, hace que en el mes de junio se reciba del orden de tres veces más radiación que el mes de diciembre (26,5 y 8,3 MJm⁻²·día⁻¹ – megajulios por m² y día- de radiación global media, respectivamente). Los altos niveles de radiación corresponden a días soleados (con predominio de radiación directa). En nuestras latitudes, la elevación o altura máxima del sol se alcanza al mediodía solar (en nuestro horario adelantado, corresponde, aproximadamente, a la una de la tarde en otoño e invierno y a las dos de la tarde en primavera y verano). Desde el “orto” (momento de aparición del sol por el horizonte) al “mediodía” la elevación va aumentando y del mediodía al “ocaso” esta elevación solar vuelve a descender de un modo simétrico (figura 3). Como puede observarse, existe un gran número de horas en que la elevación solar es baja, lo que implica una baja radiación.

Si tenemos en cuenta que los cultivos hortícolas necesitan una gran cantidad de radiación y, como se dijo anteriormente, radiación y producción son proporcionales, podemos saber cuales serían las limitaciones productivas a las que se ven sometidos nuestros cultivos en invierno (figura 4). En verano y al aire libre, sólo se alcanza la radiación que permite obtener un máximo de producción, si no existen otros factores limitantes, en las horas centrales, estando el resto del día por debajo del máximo. En invierno, los valores son bajos durante todo el día. Dentro de invernadero, ya que el material de cubierta reduce la radiación, estas limitaciones son más patentes aún. De un modo muy simple se puede decir

Invernaderos a medida

● Soluciones rentables,
capaces y eficaces
de ULMA Agrícola

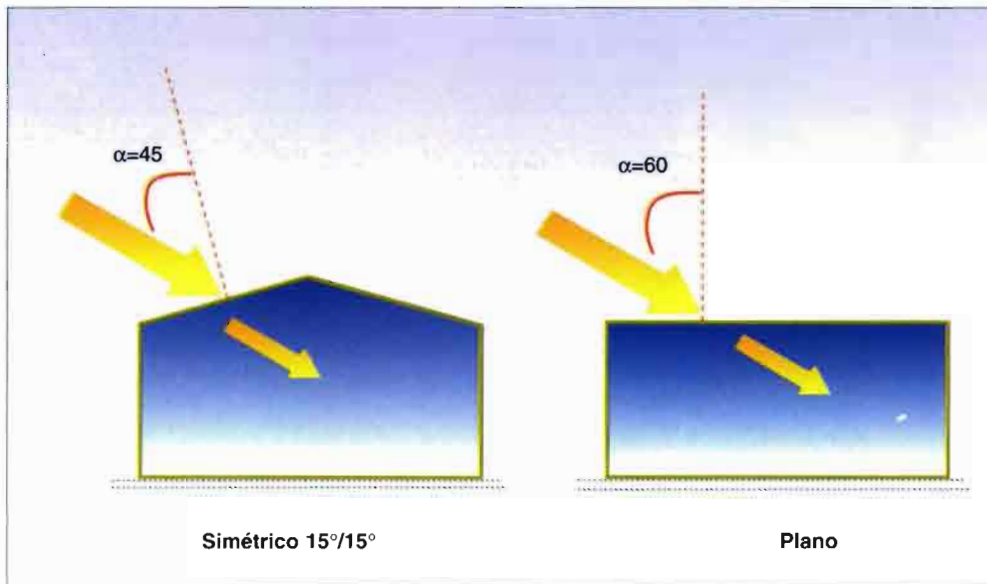


● Diseñados para satisfacer cualquier necesidad de instalación bajo cubierta en los sectores de la Agricultura y Ganadería, los invernaderos de ULMA posibilitan un control medioambiental mediante una amplia gama de equipamientos y sistemas.

ULMA Agrícola apuesta por la potenciación de una ingeniería de respuesta integral con soluciones "llave en mano". Por ello, además de integrar las tecnologías de mecanización y robotización más avanzadas del sector, ofrece proyectos personalizados y servicios de montaje a la medida de necesidades.



ULMA

Figura 6.**Ángulos de incidencia sobre un invernadero simétrico y uno plano a mediodía del 21 de diciembre, a 37° de latitud norte**

que en otoño e invierno, esas “máquinas”, que son las plantas de nuestros cultivos, “trabajan” muy por debajo de su potencial productivo por falta de radiación (luz).

Transmisividad a la radiación solar

La radiación solar que incide sobre una lámina de plástico que cubre un invernadero puede ser transmitida (atravesando dicha lámina), reflejada por dicha lámina o absorbida. La proporción de radiación que atraviesa la lámina se conoce como transmisividad y dependerá de las características de la lámina y del tipo de radiación (directa o difusa). La calidad de la luz es, asimismo, afectada al atravesar la lámina plástica (Baille, 1998). En caso de radiación directa, la transmisividad dependerá también del ángulo de incidencia (α) que forman los rayos solares con la línea perpendicular a la superficie de la lámina. Cuando la radiación solar que incide sobre la lámina es difusa, no cabe hablar de ángulos de incidencia, al provenir la radiación de toda la bóveda celeste.

De un modo muy simple se puede decir que en otoño e invierno, esas “máquinas”, que son las plantas de nuestros cultivos, “trabajan” muy por debajo de su potencial productivo por falta de radiación (luz)

Efectos de la cubierta

Cuanto mayor sea la perpendicularidad del rayo solar incidente, en caso de radiación directa, mayor será la radiación transmitida y, por tanto, su transmisividad. Al crecer el ángulo de incidencia α (rayos más oblicuos) disminuirá la transmisividad (figura 5).

Las características de la lámina (espesor, material, ...) determinarán su transmisividad (Montero y cols., 2001). Las láminas plásticas usuales de polietileno empleadas en nuestros invernaderos tienen transmisividades máxi-

mas (a la luz solar directa) del orden del 85 al 92% (Montero y cols., 2001). Cuando la radiación solar atraviesa la lámina, se modifica la proporción entre radiación directa y difusa. En algunos materiales escasamente difusores, la proporción entre radiación directa y difusa es poco alterada. Otros materiales, como algunos tipos de plástico existentes en el mercado, tienen un gran poder de difusión de la luz, de modo que aumentan notablemente la proporción de luz difusa dentro del invernadero cubierto con esas láminas plásticas. Ello tiene interés agronómico siempre que dicho poder difusor no conlleve una reducción relevante de la transmisividad, pues la radiación difusa, por su carácter “adireccional”, es más eficiente para la fotosíntesis que la directa, a igualdad de cantidad de radiación.

Con la radiación difusa (“adireccional”), la forma de la cubierta del invernadero tendrá poca relevancia sobre la transmisividad global del invernadero. En cambio, con la radiación directa, la geometría de la cubierta del invernadero y su orientación (norte-sur, este-oeste) determinarán los ángulos de incidencia de los rayos solares sobre la cubierta y, en consecuencia, la transmisividad global del invernadero (Bot, 1983).

La figura 6 representa, para el 21 de diciembre, los ángulos de incidencia sobre el lado sur, que es el que recibe la mayor parte de la radiación de esa época, de un invernadero parral simétrico de pendientes 15°/15° y sobre uno plano, orientados este-oeste, al mediodía solar. La mayor pendiente implica una mayor transmisividad en ese lado sur.

Para todo el invernadero, computando ambos lados sur y norte, la evolución de la transmisividad media a lo largo del día es la que se detalla en la figura 7. Como valores medios diarios, suponiendo que sólo hubiera existido radiación directa, la transmisividad sería de 53,6 % en el invernadero plano y del 63,2 % en el otro.

La radiación solar que incide sobre una lámina de plástico que cubre un invernadero puede ser transmitida (atravesando dicha lámina), reflejada por dicha lámina o absorbida

En la práctica, como no toda la radiación es directa, las diferencias son menores.

Orientación

La orientación del invernadero influye igualmente en la transmisividad y en la uniformidad de dicha radiación dentro del invernadero (en un invernadero

plano no cabe hablar de orientación al carecer de cumbre). Los invernaderos a dos aguas con orientación este-oeste, de cumbre, reciben globalmente mayor cantidad de radiación en los meses de otoño e invierno que los orientados norte-sur (Castilla y col., 1990). En el lado sur de un invernadero a dos aguas orientado E-O, la cantidad de radiación diaria recibida es mayor que la recibida en el lado norte (Castilla y col., 1990), mientras que en uno orientado N-S no hay diferencias entre la radiación recibida en el lado este y el lado oeste. Esto es debido al movimiento relativo del sol de este a oeste. Así, los invernaderos orientados E-O presentan una menor uniformidad de radiación que los orientados N-S. Esta situación es más patente en los meses de otoño e invierno, cuando la elevación solar es menor (Castilla, 1998).

Sombros

La transmisividad del invernadero dependerá del sombreo que producen los elementos estructurales (tubos y alambres de cubierta) y los equipos (por ejemplo, pantallas térmicas). Los invernaderos industriales tienen en cubierta elementos estructurales que producen más sombros.

La proporción de radiación que atraviesa la lámina se conoce como transmisividad y dependerá de las características de la lámina y del tipo de radiación (directa o difusa)

POLIEXMUR

Envases y Embalajes de Poliestireno Expandido

Contenedores para cultivos hidropónicos

Utilizables con cualquier tipo de sustrato

Diferentes soluciones según la técnica de cultivo, con nuestras series:



HIDROMAC



HIDROJAR



HIDROGRAN



HIDROSAC

- Fácil instalación
- Larga duración
- Reutilizables
- Aislantes térmicos
- No degradables
- Ecológicos



Pol. Ind. Oeste, C/ A-1, Parc. 26-9-A
Tels. 968 88 03 97 - 968 88 17 42
Fax 968 88 17 42
30169 SAN GINES (Murcia)

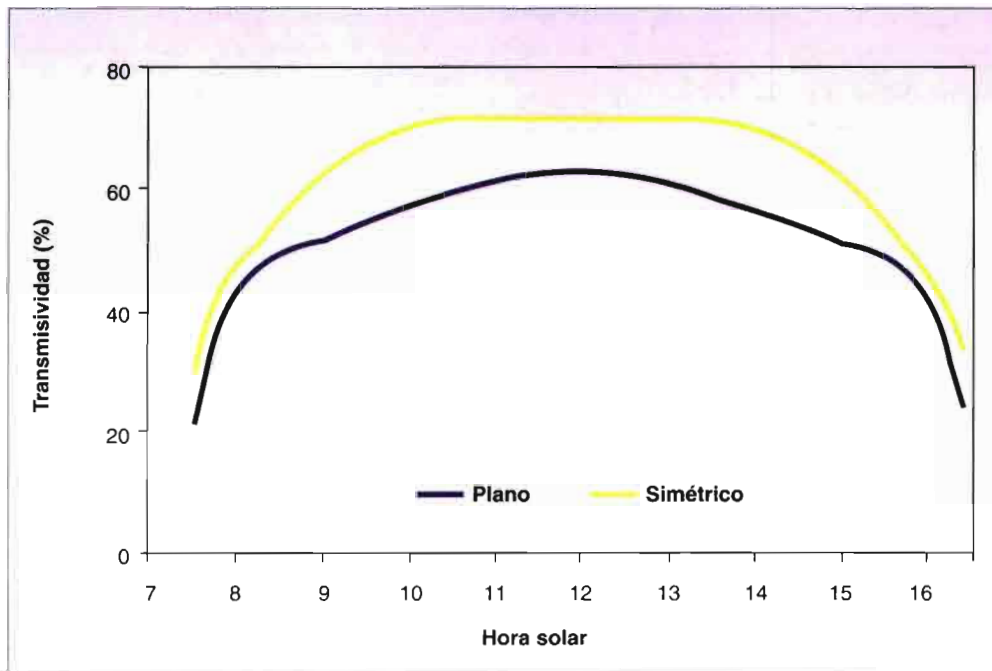
mientras que los invernaderos parrales, que sostienen el plástico por un doble tejido de alambre, producen menos sombras (Morales y cols, 2000). Los canalones de desagüe también generan sombras que limitan la transmisividad. La orientación (este-oeste o norte-sur) de estos elementos estructurales y de los equipamientos cuando son continuos, como una malla en la ventana o una pantalla térmica recogida o el canalón, induce que sus sombras se proyecten sobre una zona más o menos amplia, en los invernaderos cuyos elementos estén orientados este-oeste, o bien que las sombras se distribuyan uniformemente por todo el invernadero al irse desplazando durante el día siguiendo el movimiento del sol, elementos orientados N-S. El hecho de tener una zona más sombreada en el invernadero que el resto implica una menor productividad, derivada de la menor radiación, de la zona sombreada. Por el contrario, una sombra móvil induce que la merma de radiación generada por el sombreado se reparta por todo el invernadero, con lo que se mejora la uniformidad.

Por tanto, los invernaderos orientados norte-sur (cubrera) tienen en otoño e invierno mejor uniformidad de radiación entre las diversas zonas, pero su transmisividad global es menor que esos mismos invernaderos orientados este-oeste (cubrera)

Los invernaderos industriales tienen en cubierta elementos estructurales que producen más sombras, mientras que los invernaderos parrales, que sostienen el plástico por un doble tejido de alambre, producen menos sombras

Figura 7:

Evolución horaria de la transmisividad el día 21 de diciembre en un invernadero parral plano y otro de techo simétrico con cubierta de polietileno térmico de 200 micras de espesor de 15° de pendiente, orientados este-oeste



(Castilla, 1998). En primavera y verano estas diferencias son menores.

Si los invernaderos tienen poca pendiente, por ejemplo, parrales de raspa y amagado convencionales, la orientación este-oeste mejora muy poco la transmisividad global, a la vez que induce diferencias de uniformidad. Por tanto, estos invernaderos de baja pendiente pueden orientarse norte-sur (cubrera) sin sería reducción de transmisividad siempre que tengan una pendiente limitada de cubierta (menor de unos 8° - 10°).

Esta menor uniformidad de radiación en los invernaderos orientados este-oeste se amortigua notablemente empleando láminas plásticas difusoras de la luz, así como usando estructuras de módulos más estrechos e invernaderos más altos, tendencias existentes en la actualidad. Por ello, dicho problema de falta de uniformidad en invernaderos orientados este-oeste (cubrera)

queda notablemente minorado.

En cualquier caso, la orientación del invernadero buscando la máxima uniformidad (orientación norte-sur de cubrera) implicará una menor transmisividad a la radiación que si se orienta este-oeste.

En aquellos casos, por ejemplo, semilleros, en que conseguir la máxima uniformidad de radiación es objetivo prioritario, debe prevalecer la orientación norte-sur.

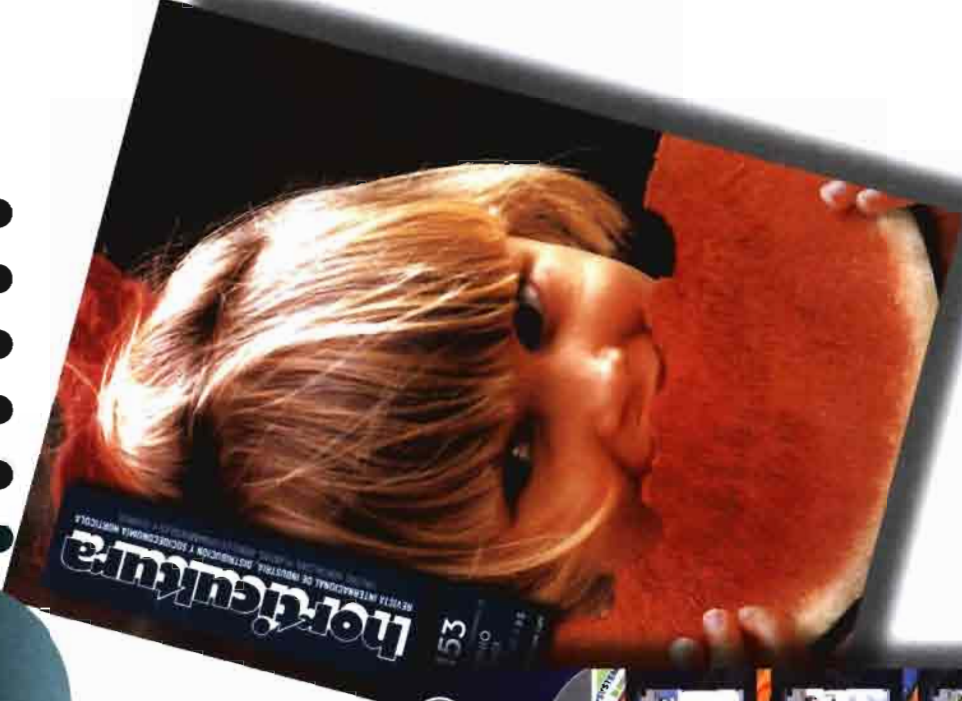
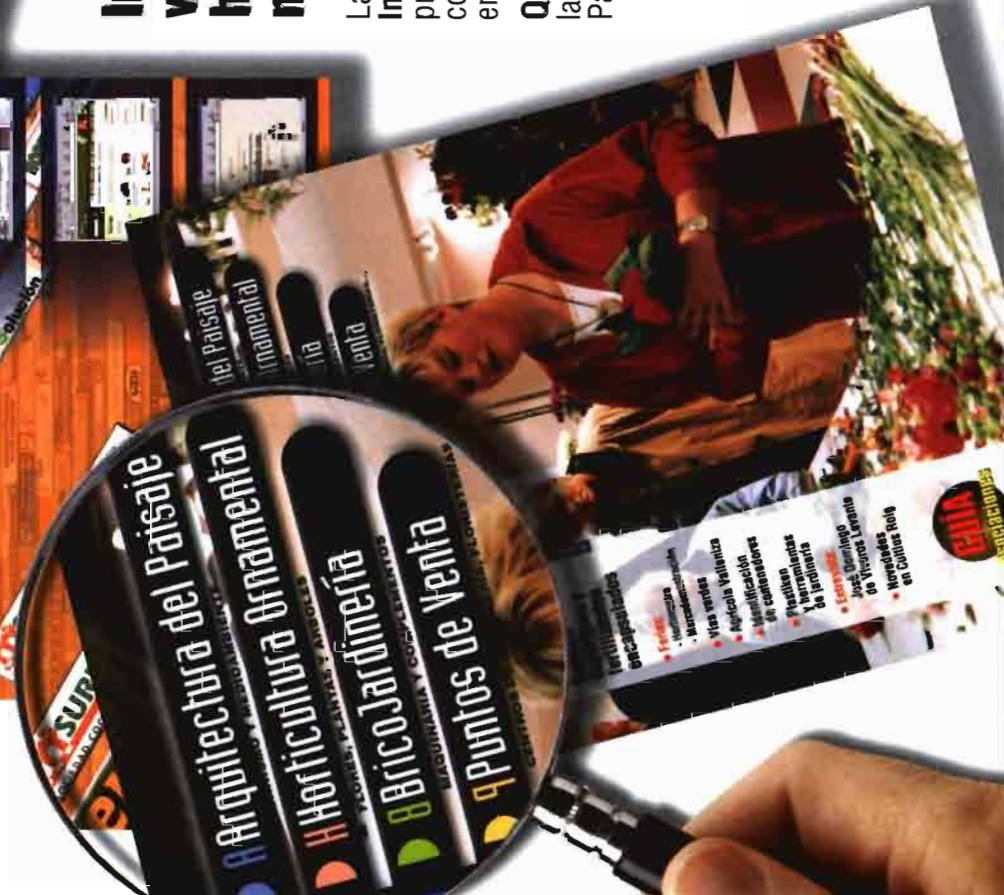
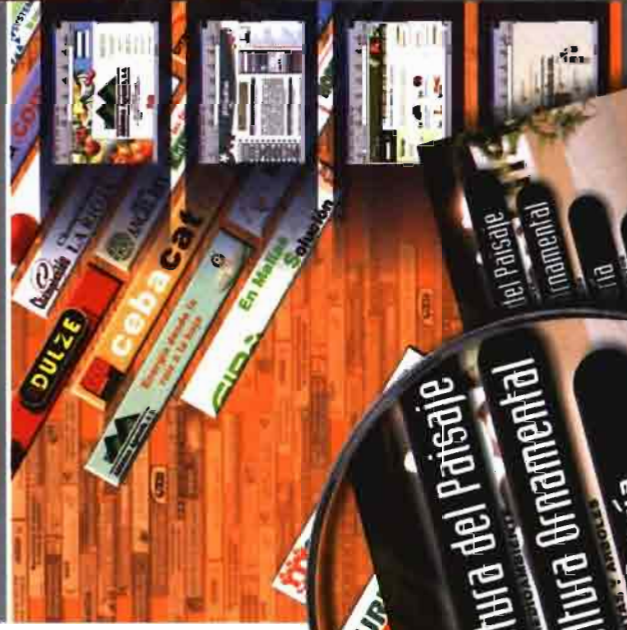
Agradecimientos

A Juan Ignacio Montero y Asunción Antón (IRTA de Cabrils, Barcelona), a Maribel Morales, Francisco Martínez, Teresa Soriano, Manuel Peláez, Alexis fernández (CIFA de Granada) y a Abelardo Martín (La Nacla).

Bibliografía

La bibliografía completa de este trabajo puede encontrarse bajo <http://www.ediho.es/revista157.html>

¿DÓNDE están las claves para la tecnología y los negocios hortícolas en frutas, hortalizas, flores y viveros?



In the world's most widely read horticultural magazine in Spanish

Las revista **Horticultura & Horticultura Internacional** son una referencia para los profesionales y empresas de tecnología y comercio de frutas, hortalizas, flores y viveros en todo el mundo.

QΣj es la revista de distribución y comercio en la Horticultura Ornamental, Arquitectura del Paisaje y los Puntos de venta de Bricojardinería

SUSCRIPCIÓN

Revistas:
Horticultura + 1 Extra + Horticultura Internacional + QΣj (25 números al año)

132€

Suscribese a través de Internet, <http://www.horticom.com/suscripcion.html> o por Tel.: +34-977 75 04 02

Sólo Rev. Horticultura 90 €
 Sólo QΣj 50 €