

IFAPA

Jornadas sobre el control del clima en el invernadero

Almería 23-24 Febrero de 2016

Sombreado. Estrategias de manejo en función de las variables climáticas y la fenología del cultivo



Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, PESCA Y DESARROLLO RURAL

Pilar Lorenzo
IFAPA La Mojonera

La radiación solar incidente genera regímenes térmicos estresantes y atmósferas de alta demanda evaporativa.



Crecimiento y desarrollo
Cantidad y calidad de la producción

Hora solar: 7: 30

Hora solar: 12:15



Julio 2002

Cultivo Pimiento 5 DDT

Invernadero Parral

Ventilación perimetral

Situación actual

- Estructuras de los invernaderos. (%) de la superficie de invernaderos en función del tipo de estructura.

	1999/2000	2005/2006	2012/2013
Parral plano	39,6	33,3	29,0
Parral monocapilla	1,9	0,2	0,3
Parral multicapilla simétrico	51,7	60,0	63,6
Parral multicapilla asimétrico	6,5	5,3	4,9
Multitúnel	0,3	1,2	2,3

- BAJA superficie de ventana/ superficie suelo cubierto
.Reglamento producción integrada obliga a incorporar en las ventanas **mallas de 10 * 20 hilos cm⁻²**

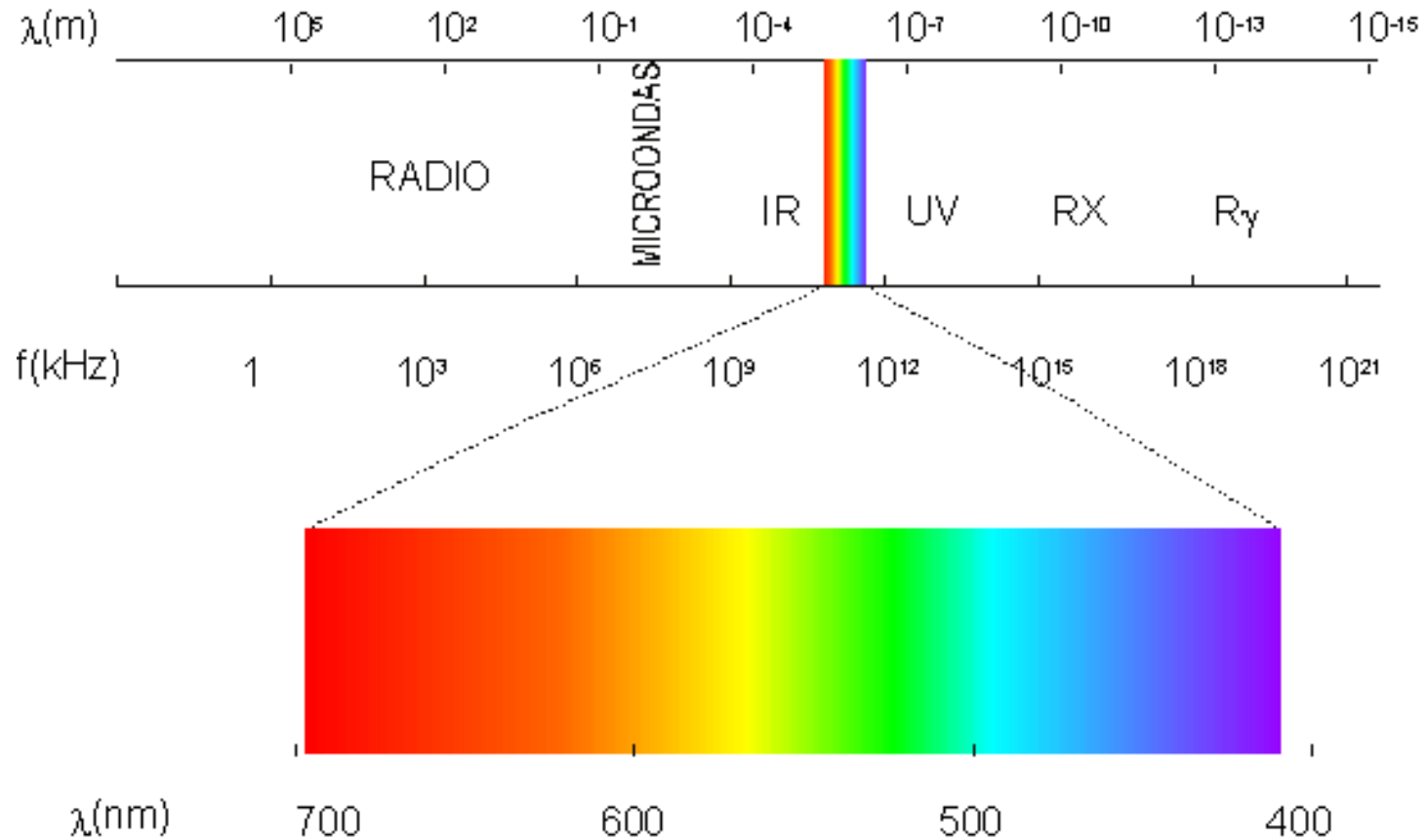
- El **99,4%** de la superficie de invernaderos dispone de mallas anti-insecto en las ventanas

- Aplicación blanqueado / sombreado

97,4 % Blanqueado
0,6 % Mallas de sombreado
1,0 % Blanqueado y malla



Espectro de radiación

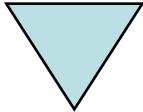


Radiación Visible 380-770 nm
Radiación PAR 400-700 nm
Radiación Global 300-3000 nm



Unidades de Radiación

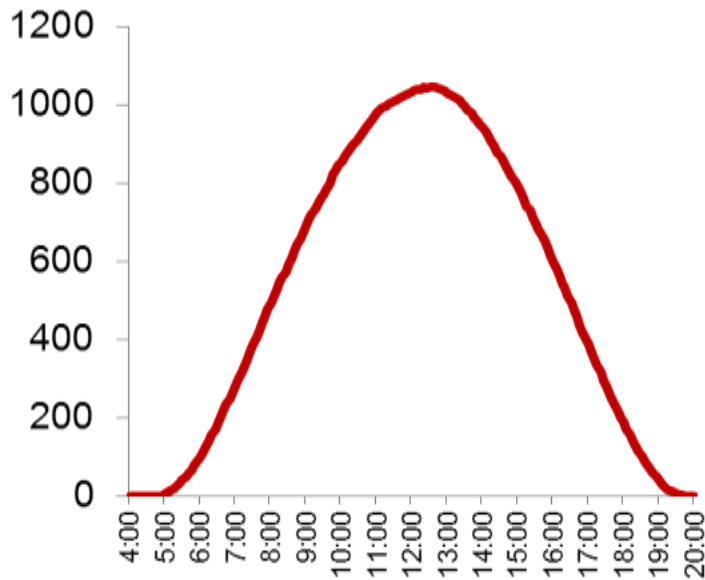


 Global $\text{W m}^{-2} =$ $\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$	PAR $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} =$ $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$	PAR $\text{W m}^{-2} =$ $\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Visible Lux	
Global $\text{W m}^{-2} = \text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$	1	2	1/2	100
PAR $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} =$ $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$	1/2	1	1/4	50
PAR $\text{W m}^{-2} =$ $\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$	2	4	1	200
Visible Lux	1/100	1/50	1/200	1

Integral de radiación

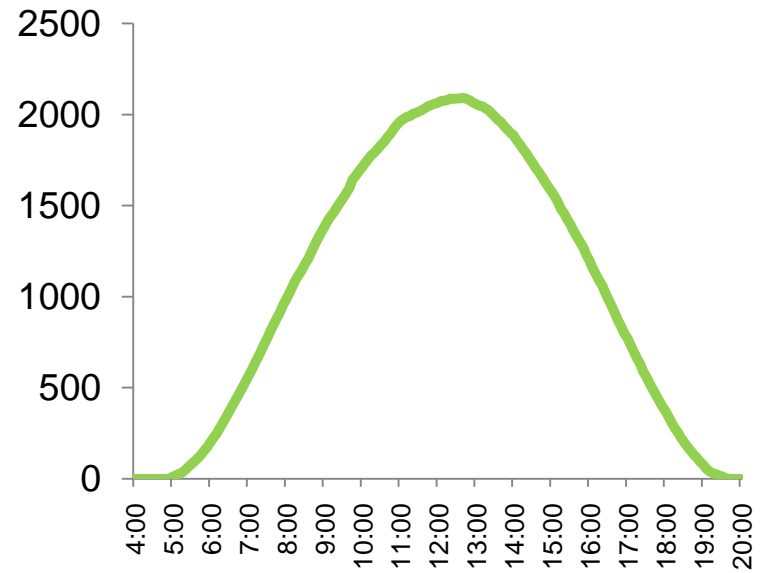
Global

J m² d⁻¹



PAR

μmol m² d⁻¹



Integral diaria **Junio**

30 MJ m² d⁻¹

60 mol q m² d⁻¹

El sombreado debe actuar reduciendo la energía calorífica en exceso y adecuando la intensidad de radiación sobre la cubierta vegetal

Optimizar la eficiencia en la conversión de la luz interceptada por el cultivo en materia seca

La elección del porcentaje de sombreado y del método depende de diversos factores



Aspectos que influyen en la elección de las características del sombreado

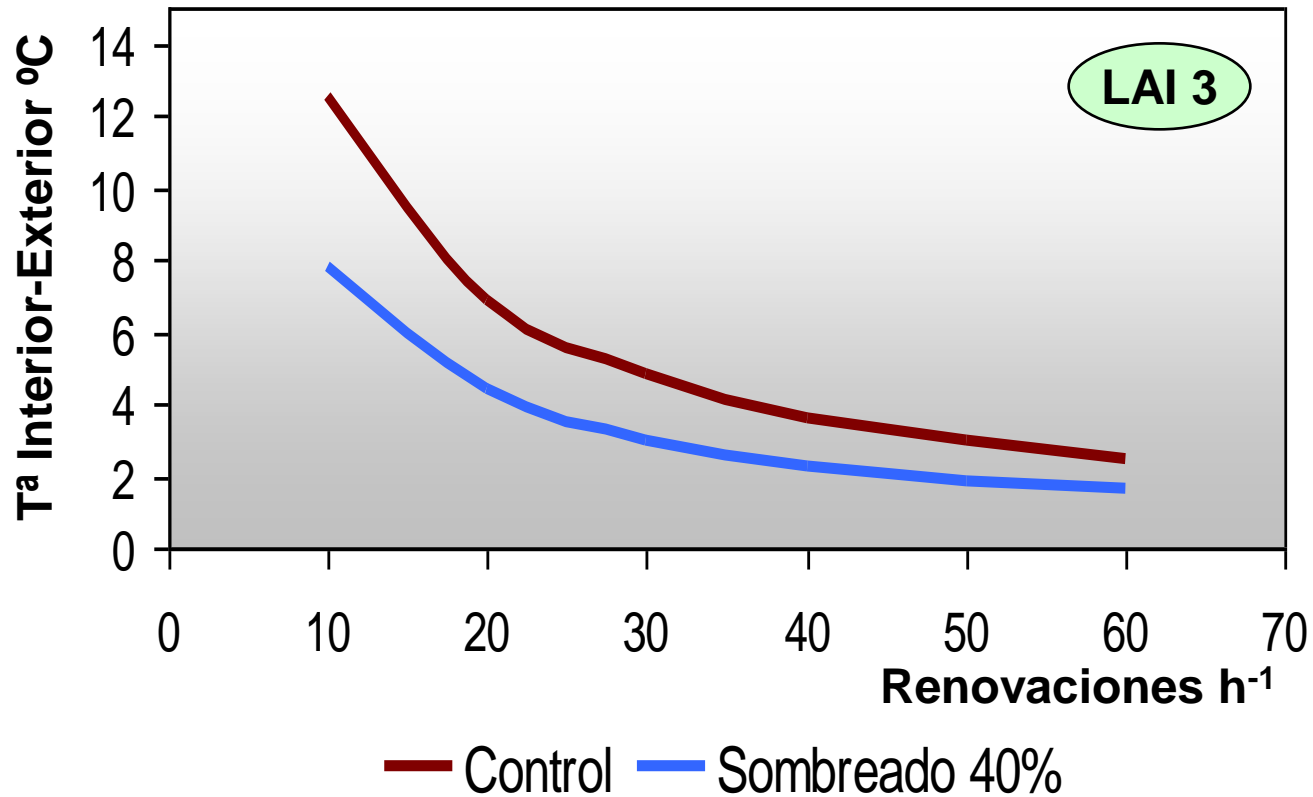
Características del invernadero

Dimensiones

Ventilación



Influencia de la ventilación sobre el efecto del sombreado



Condiciones exteriores: Radiación Global **900 Wm⁻²**
Humedad Relativa **40%**

(J. I. Montero)

Aspectos que influyen en la elección de las características del sombreado

Características del invernadero

Dimensiones

Ventilación



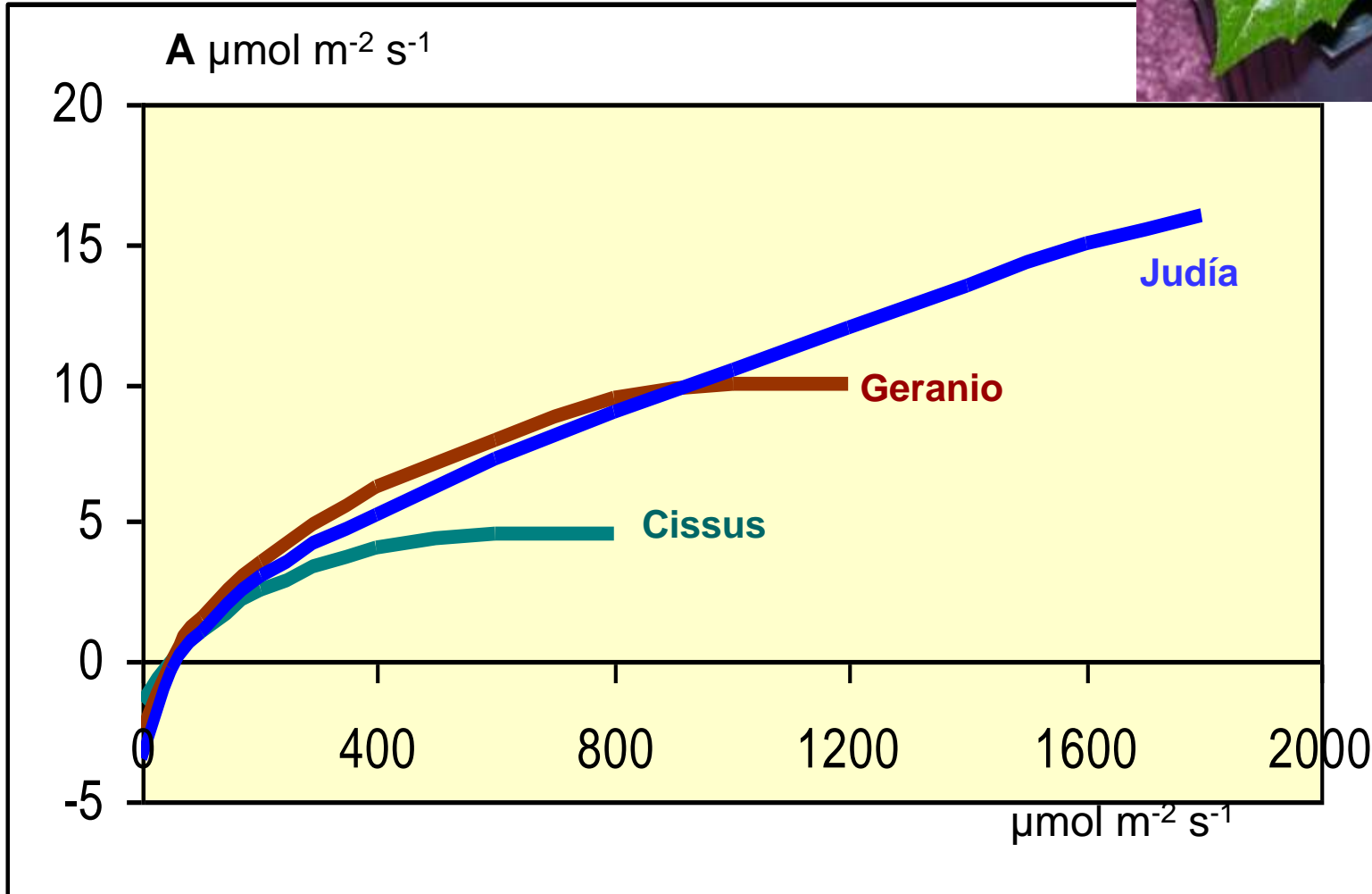
Especie cultivada

Plantas de baja saturación lumínica o plantas de sombra: ornamentales

Plantas de alta saturación lumínica o plantas de sol : Hortícolas comestibles



Fotosíntesis-Radiación





Especie	Saturación	Fotosíntesis	Respiración	P. Compensación
	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
<i>Ficus benjamina</i>	515	7,3	0,8	16
<i>Scindapsus aureus</i>	438	7,6	0,3	7
<i>Hedera helix albo variegata</i>	260	8,1	0,9	12
<i>Cissus antarctica</i>	238	4,2	0,4	8
<i>Fatsia japonica</i>	230	6,8	0,6	10
<i>Philodendron scandens</i>	127	1,9	0,2	8

Parámetros de intercambio gaseoso foliar determinados a 23°C en *H. helix* y *F. japonica*; y a 30°C en *F. benjamina*, *S. aureus*, *C. antarctica* y *P. scandens* (Matas y col., Tapia y col., 1983)

Las especies de baja saturación lumínica

Están asociadas a los estratos inferiores de la vegetación de los bosques tropicales y subtropicales.

Su cubierta vegetal se satura a intensidades $<600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

El punto de saturación varía en función del régimen de radiación habitual en su hábitat de origen

Tasas fotosintéticas

Valores de respiración “fase oscura”

P. Compensación

Objetivos de los sistemas de sombreado

Mejorar el clima durante los periodos cálidos

Ajustar la intensidad máxima de radiación para evitar fotoinhibición



Las especies de alta saturación lumínica

La cubierta vegetal no llega a saturarse incluso a la máxima radiación, al medio día solar, un día despejado en el solsticio de verano

(1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, int. invernadero)

Tasas fotosintéticas altas

P. Compensación elevado

Altos valores de respiración “fase oscura”

Objetivo de los sistemas de sombreado:

Mejorar la temperatura y el DPV y por tanto ϵ

↓1% Radiación → ↓0,5 - 3,1% Producción
(Cockshull, 1988, 1989)



Reducir lo indispensable la luz incidente sobre la cubierta vegetal

Objetivos del sombreado / blanqueado

- Mejorar la eficiencia en la conversión de la radiación interceptada en materia seca:

Foto-respiración ↓

Evapotranspiración ↓

- Mejorar la calidad de fruto

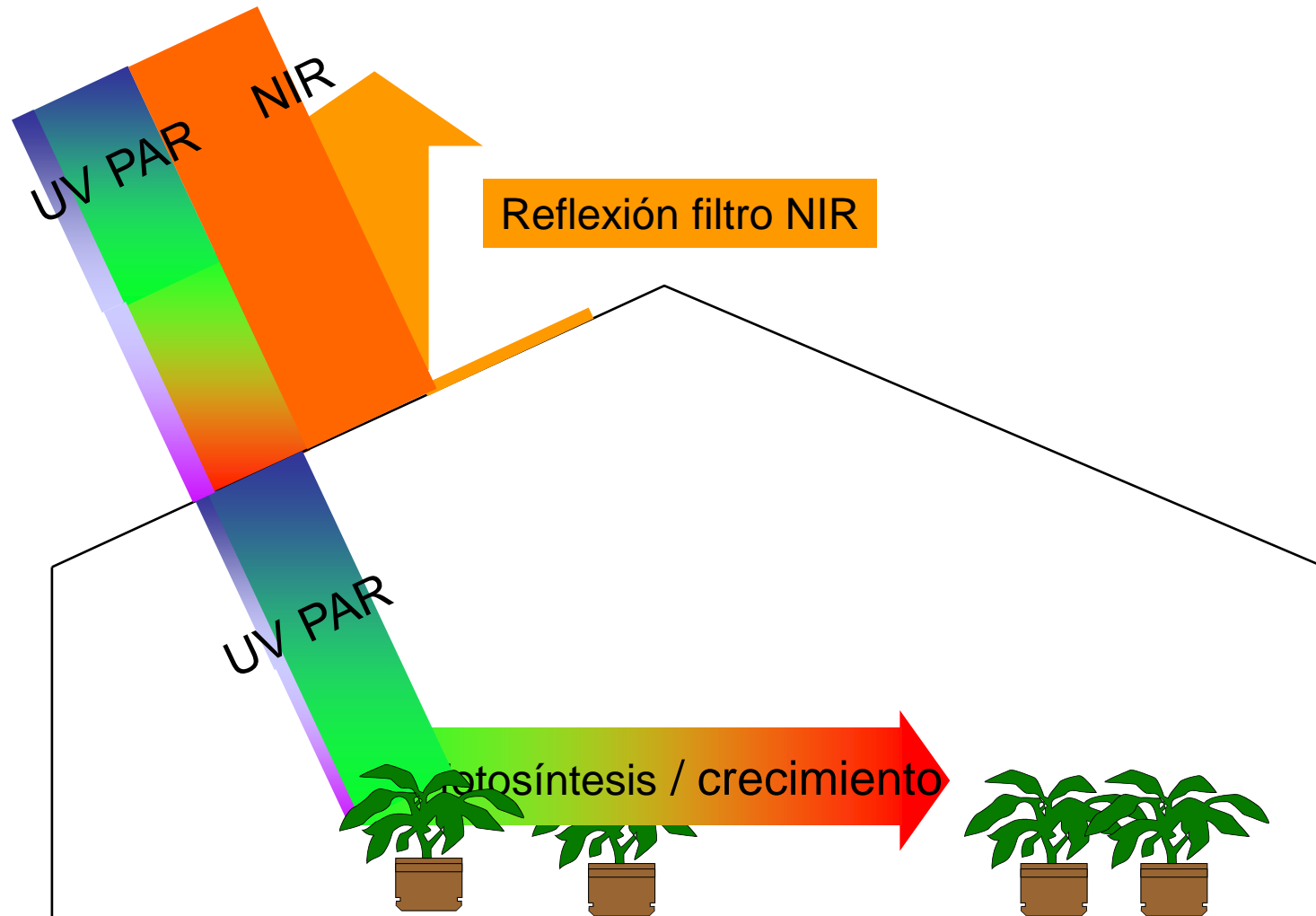


- Mitiga el efecto nocivo de la salinidad sobre la producción de fruto

El sombreado reduce el potencial productivo

(De Pascale, 2009) $0,6 \text{ kg m}^{-2} \text{ mes}^{-1}$ de tomate por cada 10% de sombreado

Solución ideal: Utilizar materiales o productos selectivos a la transmisión de radiación PAR y NIR



(Hemming et al., 2006)

Sistemas pasivos o estáticos

Blanqueado o encalado

Ventaja: es un sistema de sombreado barato

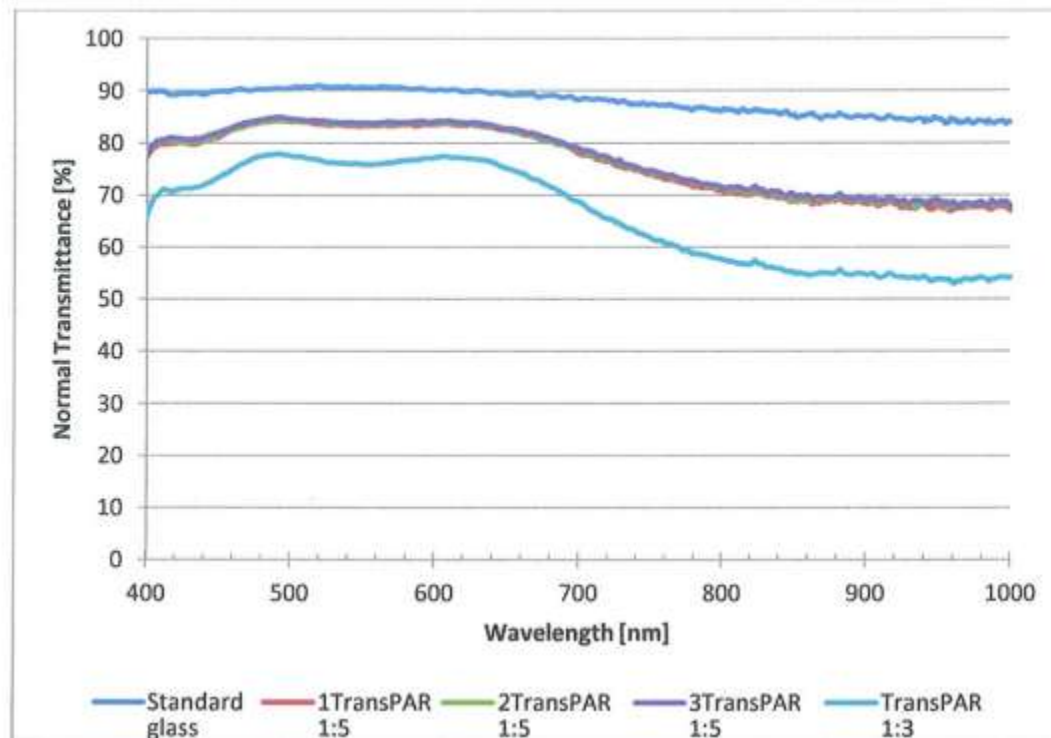
Inconvenientes :

- Heterogeneidad en la transmisión de luz de la cubierta por aplicación, lavado o lluvias esporádicas.
- Mal aprovechamiento de la radiación por la mañana, la tarde y los días nublados.
- Suelen aplicarse encalados de intensidad excesiva, (Morales y col., 1998).
- Existen pinturas selectivas que permiten mayor porcentaje de transmisión PAR respecto a NIR.



Pinturas selectivas PAR

% Transmisión valores espectrales de TransPAR



1:3 (1 parte de producto : 3 de agua)

Transmisión PAR: 75%, reducción de transmisión NIR 47 %

1300- 2000 L ha⁻¹

Sistemas pasivos o estáticos

Mallas de sombreo fijas

- Aplicación de un sombreado homogéneo
- Posibilidad de seleccionar entre diversos porcentajes de transmisión de luz
- Posibilidad de elegir diferentes materiales: polietileno, polipropileno, poliéster, fibras acrílicas, m. aluminizadas



Instalación: Interior o exterior

Sistemas activos o dinámicos

Mallas móviles: Se activan mediante consignas de temperatura interior del invernadero y radiación

- Se aprovecha mejor la radiación mañana/tarde y la plasticidad morfológica de la planta

Instalación Interior

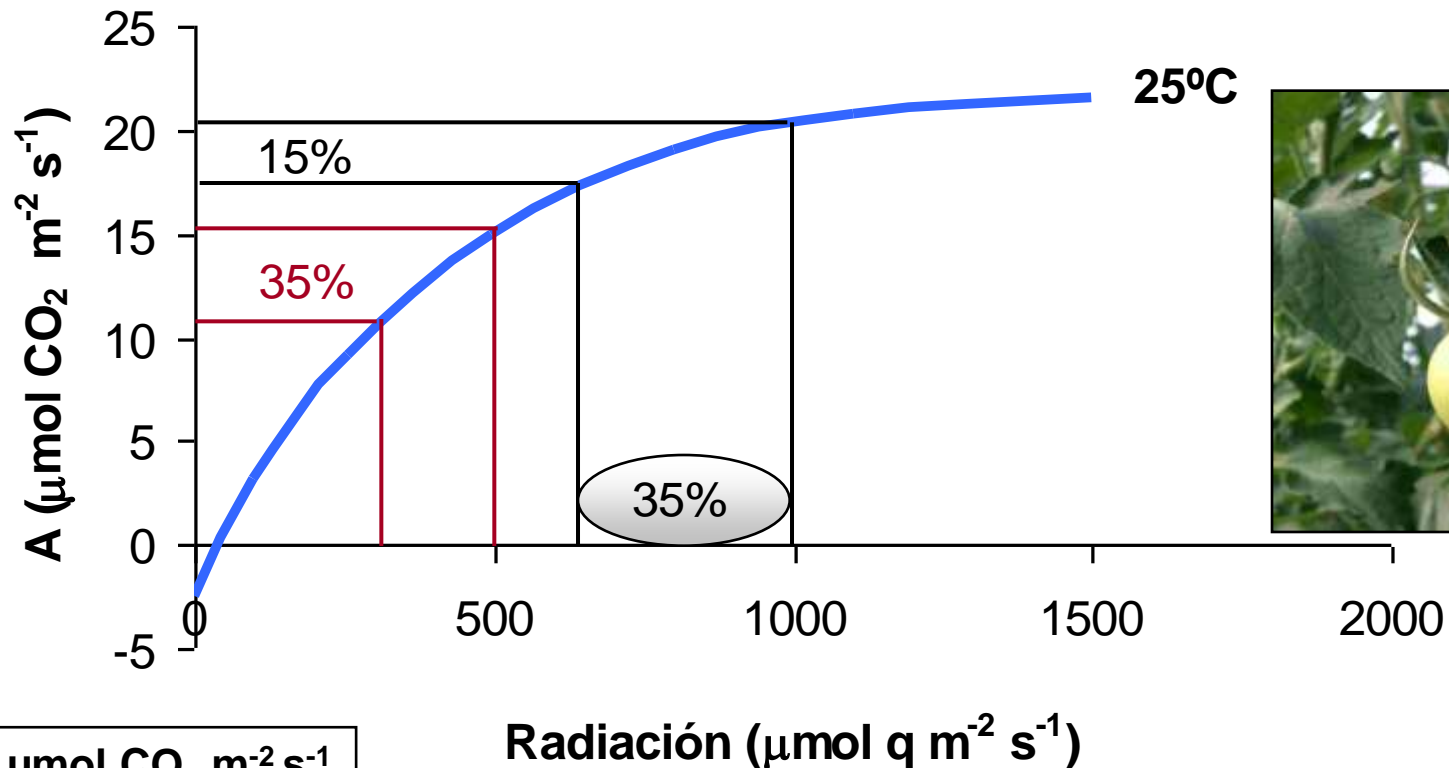
- En invernaderos altos
- No debe obstaculizar la ventilación

Instalación Exterior

- Coste instalación alto
- Mayor dificultad en el mantenimiento
- Incorporación de dispositivos de seguridad frente al viento



Asimilación neta foliar CO_2 / Radiación



El sombreado a intensidad de radiación baja reduce en mayor medida la fotosíntesis

Aspectos que influyen en la elección de las características del sombreado

Características del invernadero

Dimensiones

Ventilación



Especie cultivada

Plantas de baja saturación lumínica o plantas de sombra: ornamentales

Plantas de alta saturación lumínica o plantas de sol : Hortícolas comestibles

Fenología de la planta

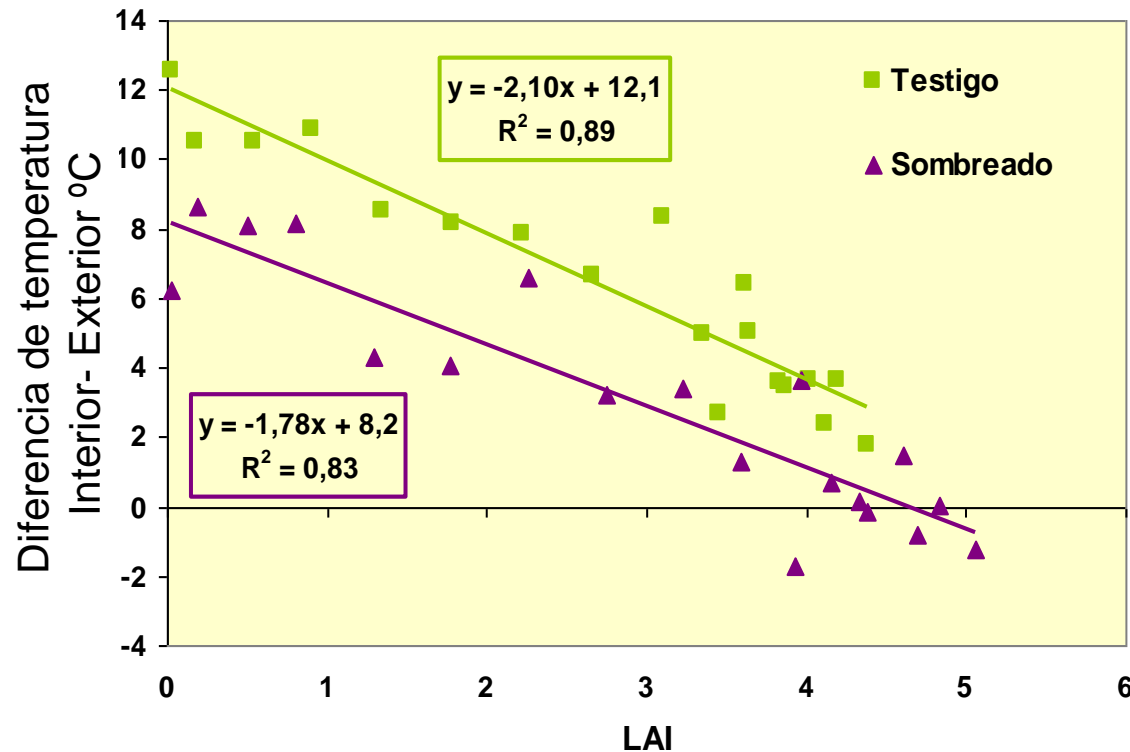
Índice de área foliar del cultivo

Estadio planta/ Ciclo de cultivo



En el invernadero la principal fuente de vapor de agua es la transpiración del cultivo

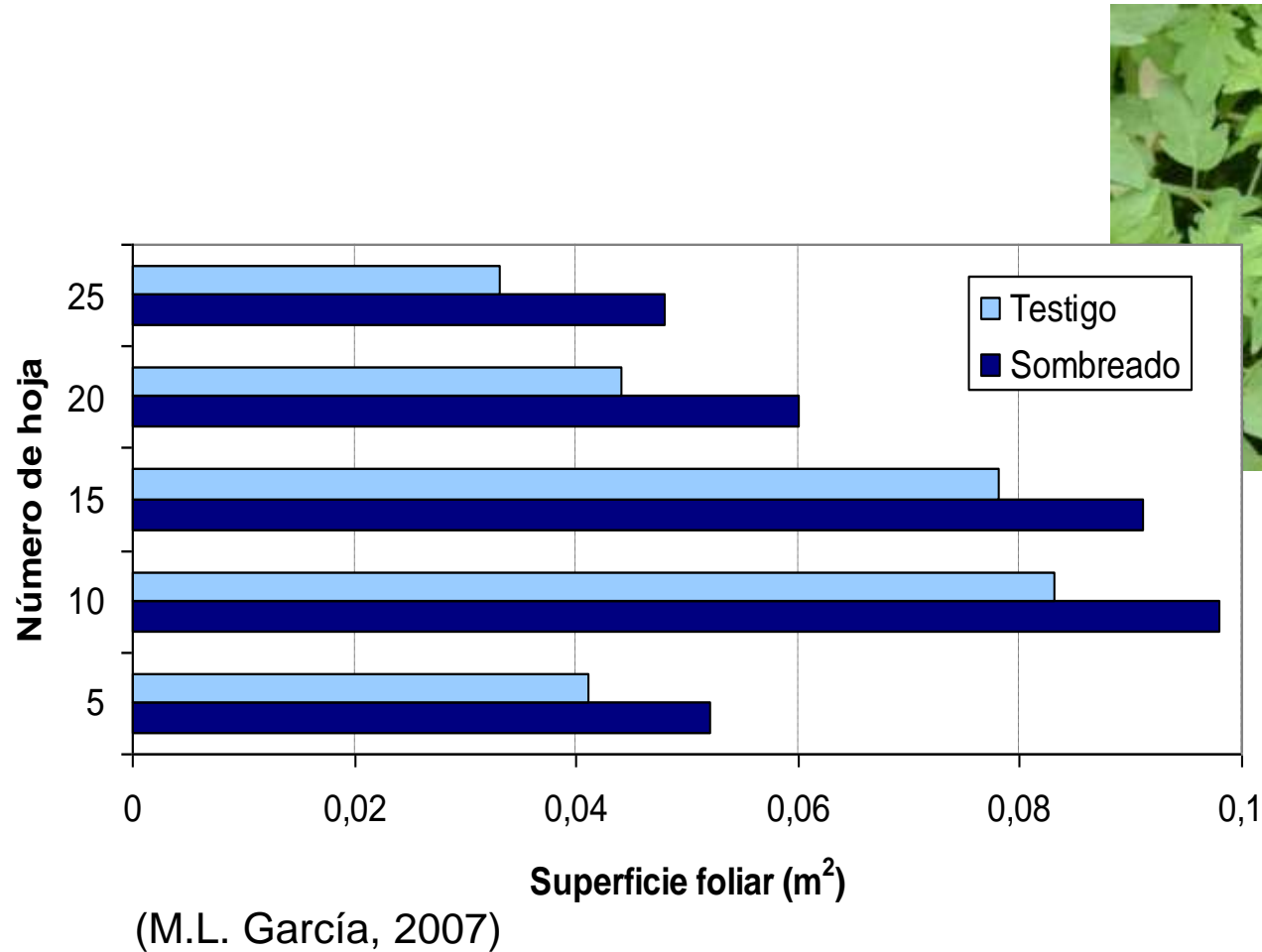
La transpiración de dosel vegetal desarrollado puede disipar entre **50-60%** del calor en el interior del invernadero



(M. L. García, 2007)

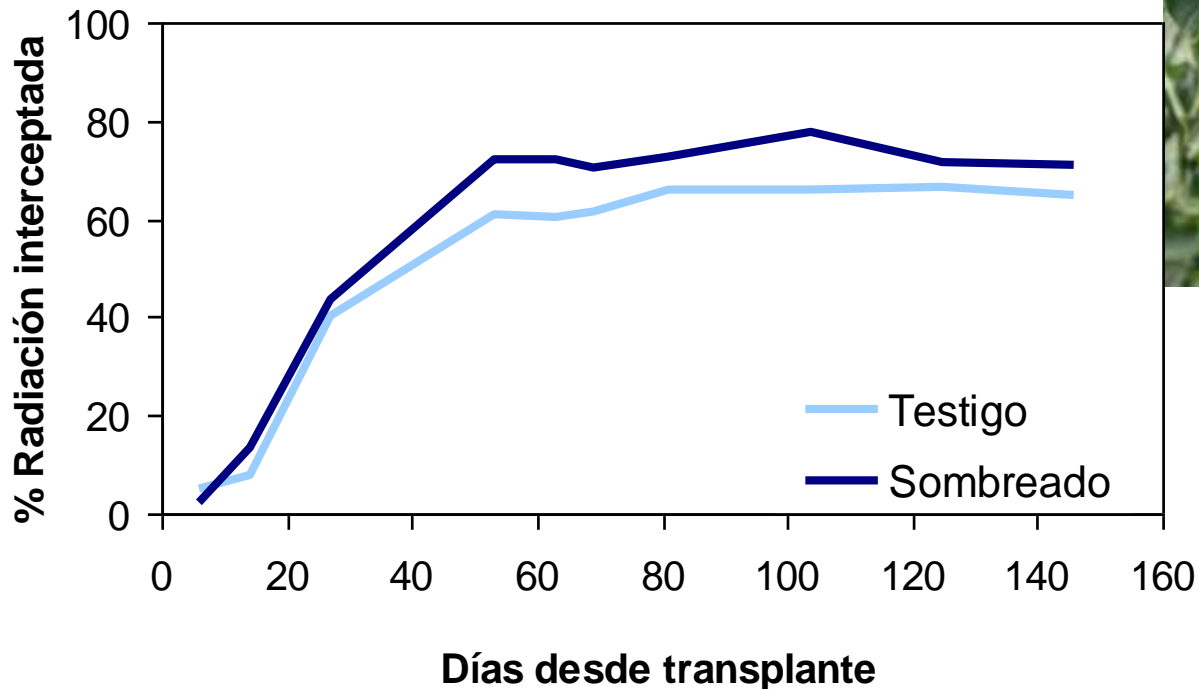
Adecuación de la densidad de plantación en función del ciclo

Efecto del sombreado sobre la morfología foliar



El sombreado aumenta notablemente la superficie foliar

Efecto del sombreado sobre el porcentaje de radiación interceptada



El aumento del porcentaje de radiación interceptada por los cultivos sombreados compensa parcialmente la reducción en la transmisión de radiación

Evaluación de la respuesta agronómica de una malla de sombreado móvil en relación al blanqueo tradicional de la cubierta

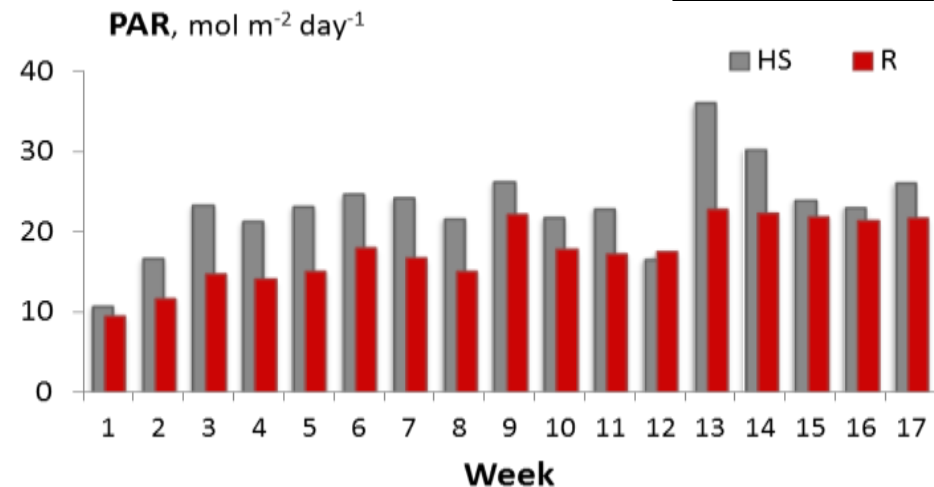
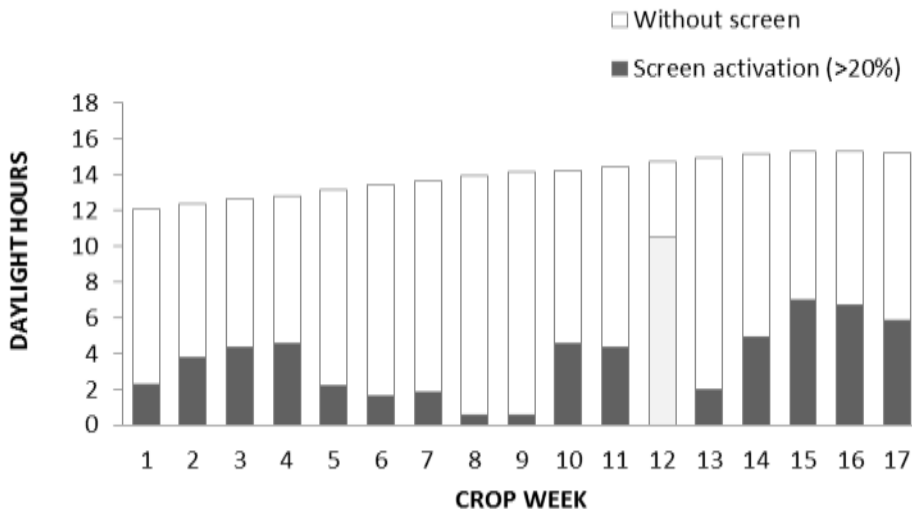
Cultivo de tomate cv. Bigram. Primavera 2013 (marzo-junio)



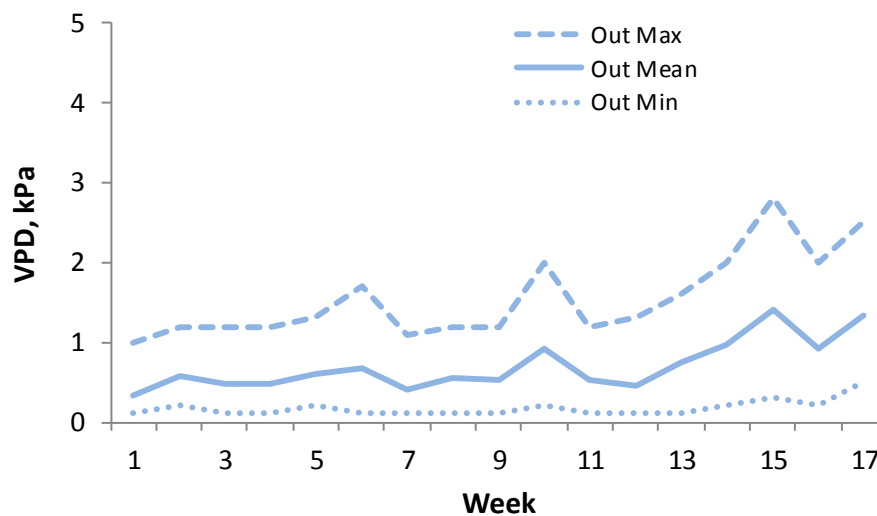
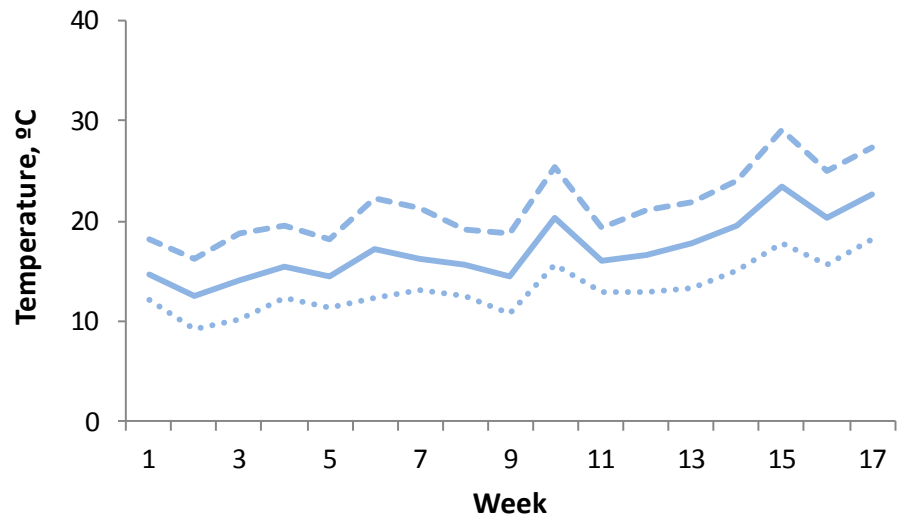
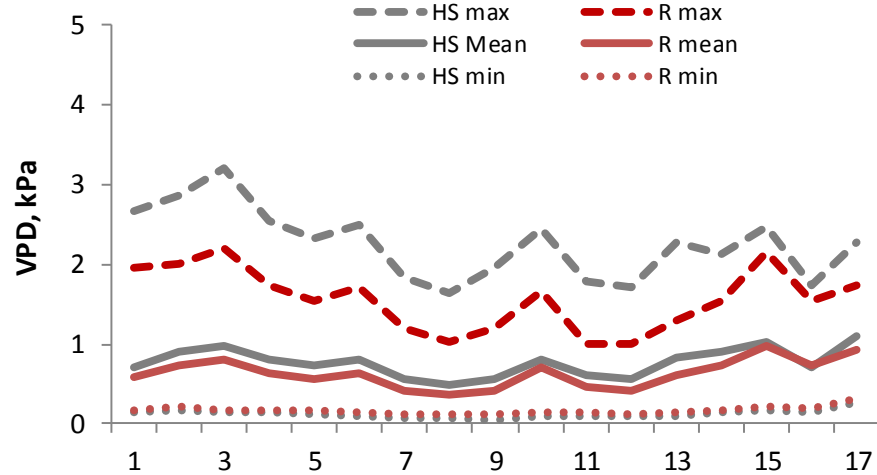
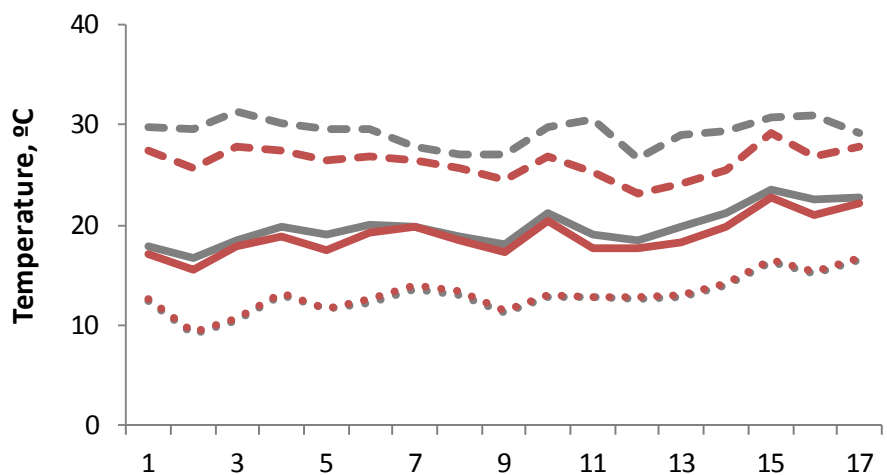
Transmisión: Directa (52%)
Difusa (49%)

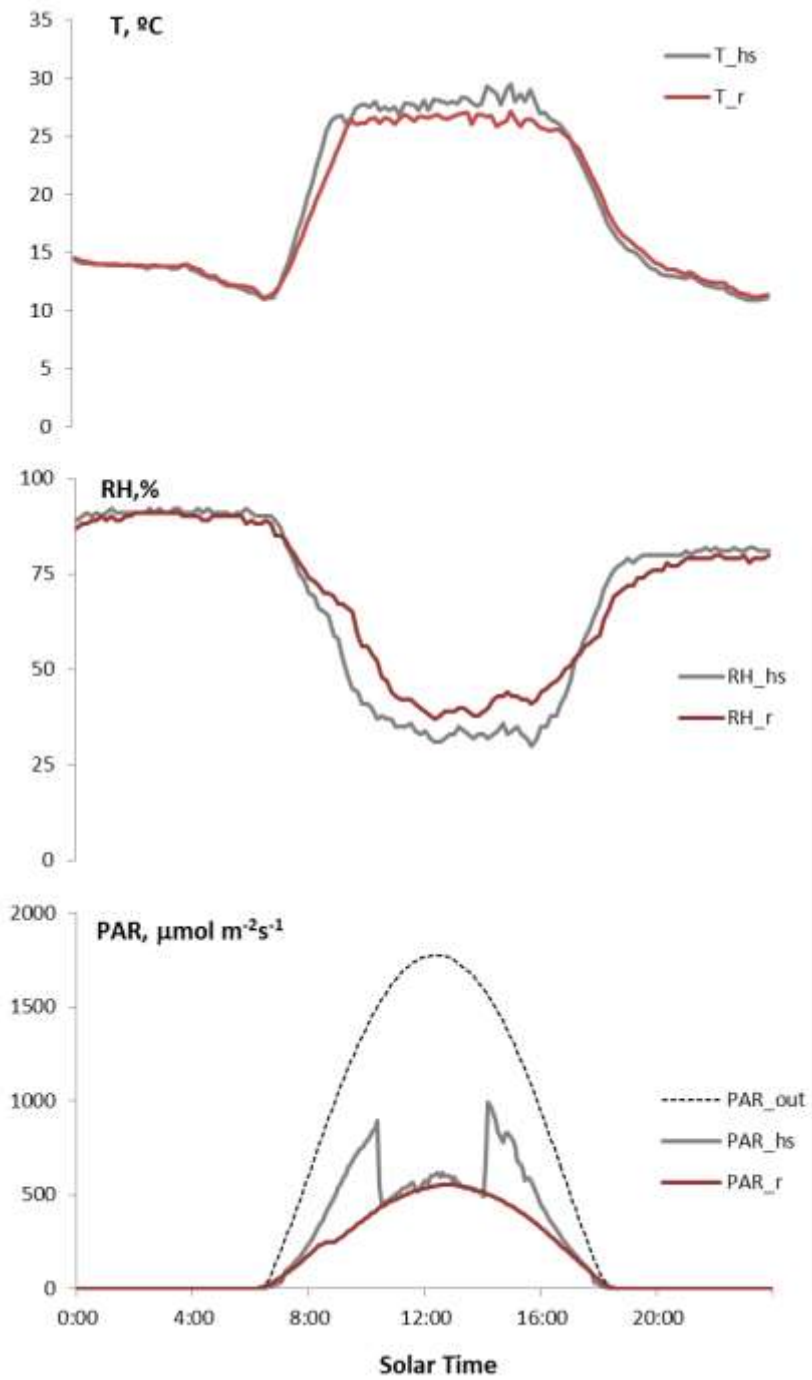
30-40 %

31,2% ↑

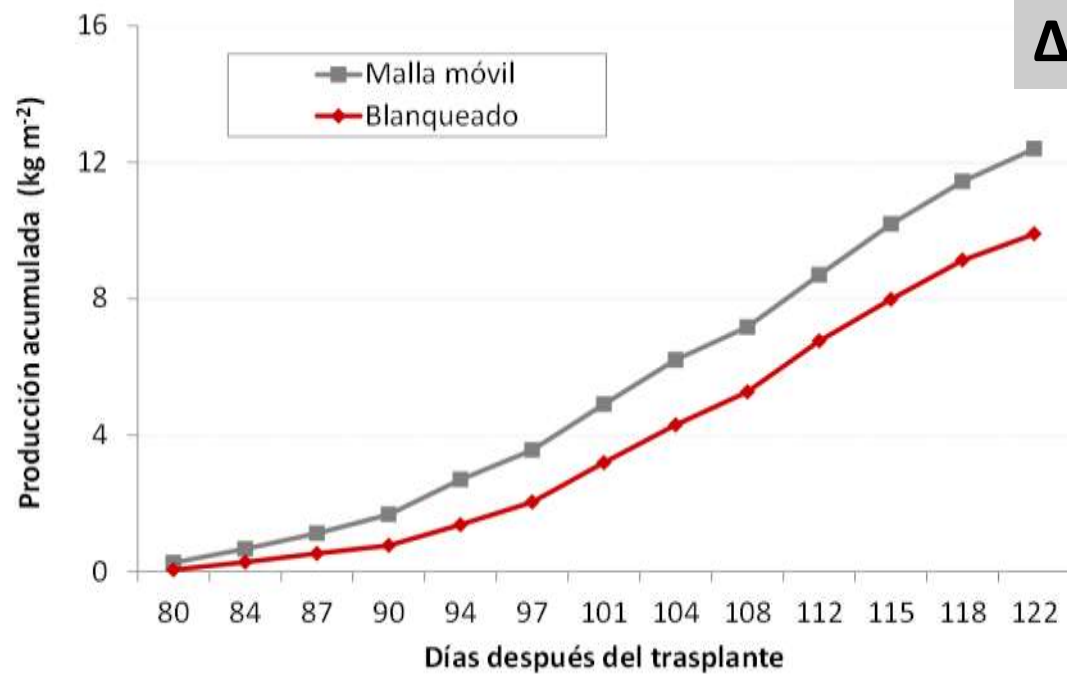


Evolución de la temperatura y del déficit de presión de vapor



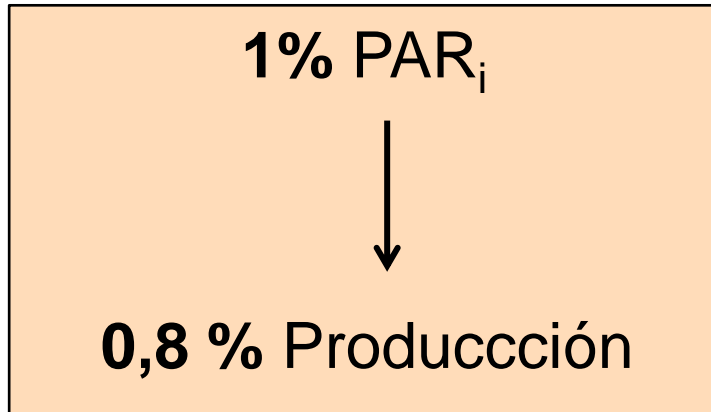


Producción de fruto



	Producción Comercial (kg m ⁻²)	No Comercial (kg m ⁻²)	GG	G	M	MM	Nº frutos	P. Medio Frutos (g)
HS	12.4 A	0.03	0.56 a	10.85 A	0.86	0.09 A	70.8 A	174.9 A
R	9.9 B	0.01	0.43 b	8.57 B	0.85	0.04 B	58.4 B	169.4 B

Duración del crecimiento y desarrollo de fruto



Tratamiento	Ramillete 1 (días)	Ramillete 4 (días)
HS	63 B	61 B
R	67 A	66 A

Calidad de fruto

Tratamiento	Color	Firmeza	pH	AV	SST
	(° hue)	(N)		(% ác. cítrico)	(° Brix)
HS	60.9	22.75	4.6	0.18	4.53
R	61.1	22.31	4.6	0.18	4.61



Invernaderos experimentales 720 m² X 2

Malla móvil de sombreo
aluminizada (OLS ABRI 50%)

Referencia: sin sombreo



Pepino CV Borja

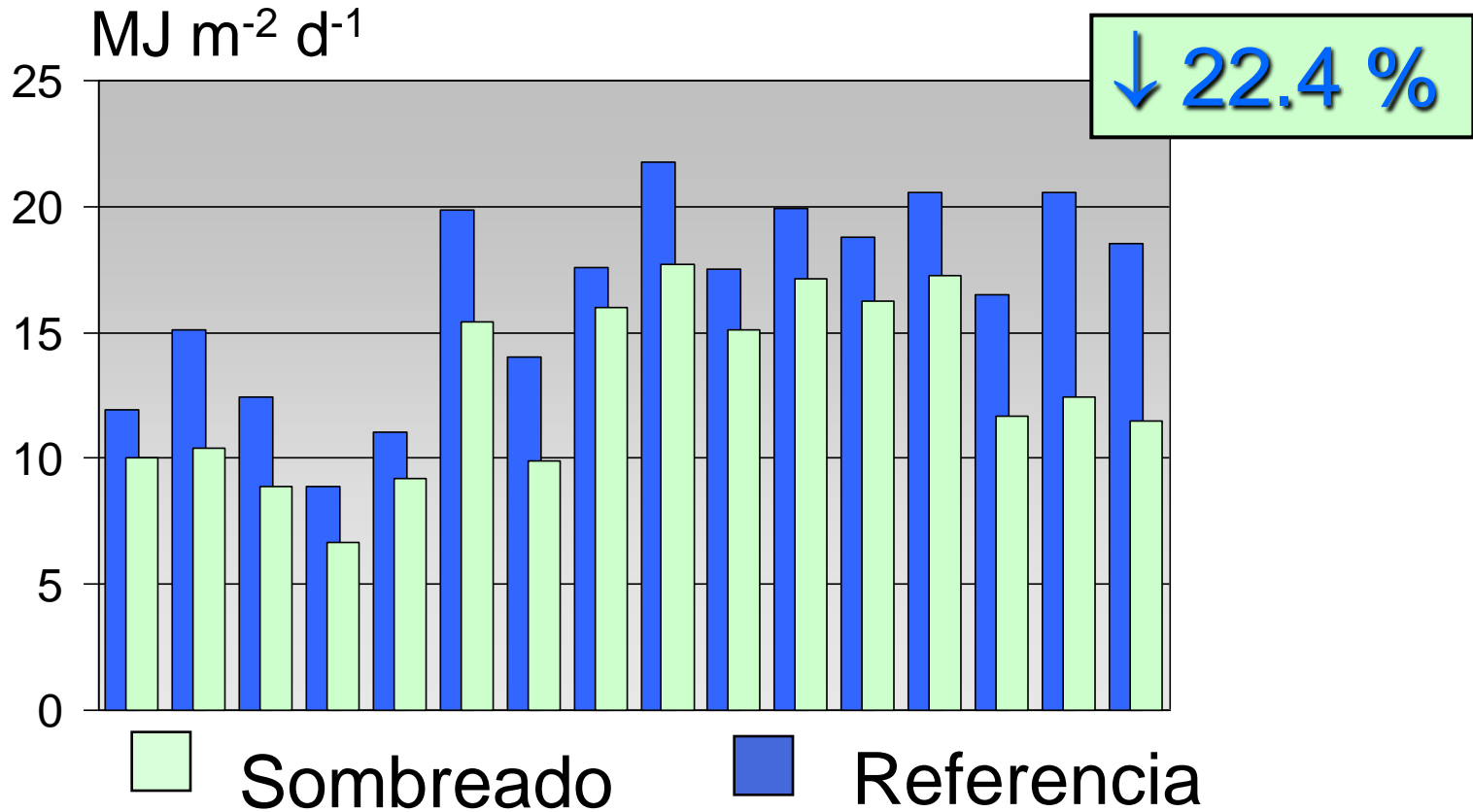
Referencia

Sombreado

EC SN: 2.5 dS m⁻¹ 5 mmol L⁻¹ Cl Na

EC SN: 3.6 dS m⁻¹ 15 mmol L⁻¹ Cl Na

Evolución de la integral diaria de radiación global incidente

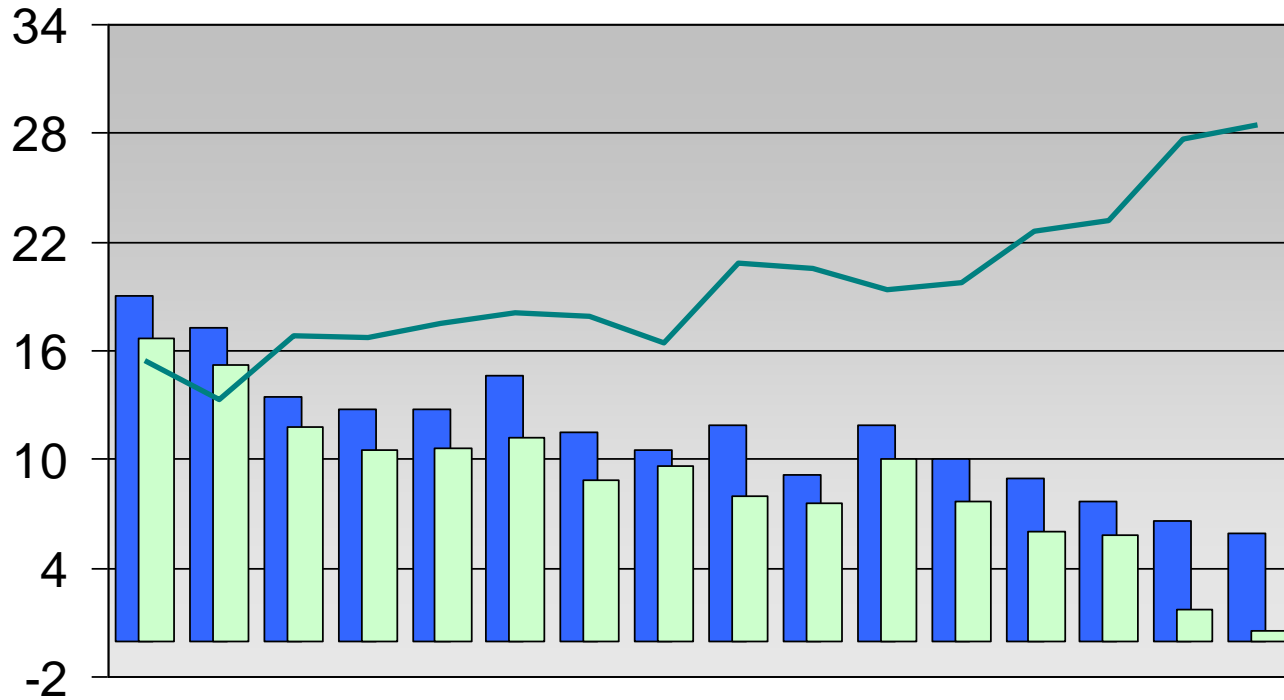


CONSIGNA ACTIVACIÓN SOMBREADO

Radiación exterior > 650 W m⁻²

Temperatura aire del invernadero > 28°C

Gradiente Térmico. Media de las temperaturas máximas



 Sombreado  Referencia

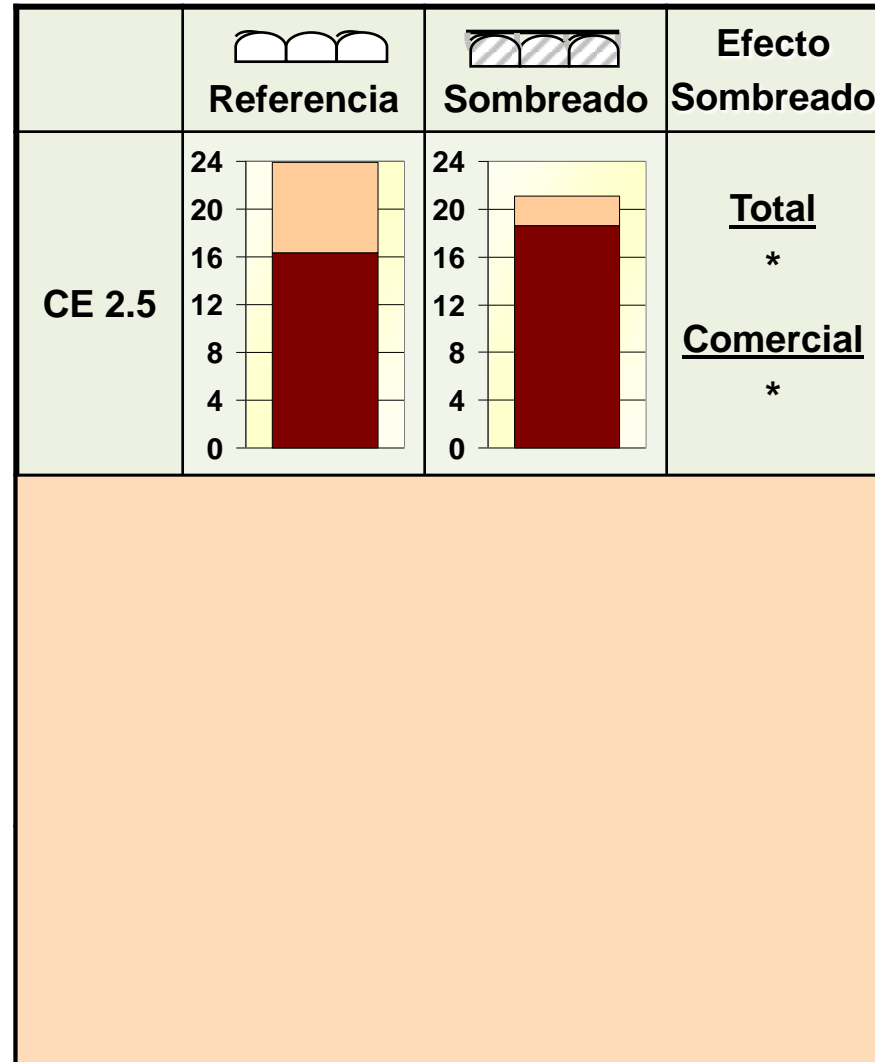
Producción (kg m⁻²)

↑ 12,5%

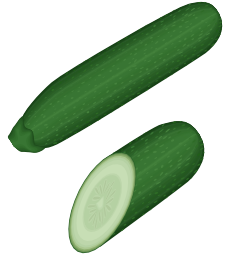
↓ 1% → ↓ 0,6 %



↑ 23%



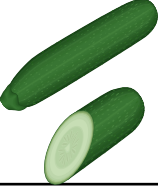


Absorción Hídrica Acumulada L m⁻²



PEPINO	CE 2,5	CE 3,6	CE Δ %
Referencia	346	284	-18
Sombreado	240	215	-10
Sombreado Δ %	-31	-24	

Eficiencia en el uso del agua

Producción comercial (g) /Agua absorbida (L)

	CE 2,5	CE 3,6	CE Δ %
Referencia 	47	47	0
Sombreado 	77	76	+1
Sombreado Δ %	+64	+62	

RECOMENDACIONES para la aplicación de sombreado móvil en invernadero



1. Introducción
2. Métodos de sombreado
3. Control del sombreado móvil
4. Dinámica de aplicación



3. Control del sombreado móvil



El equipamiento disponible (controlador y sensores) determinará el modo de gestionar la activación del sombreado móvil:

- **Por radiación.** La consigna de activación se ajustará en función de los valores registrados de temperatura máxima en el interior del invernadero. Es necesario considerar el porcentaje de sombreado de la malla utilizada.
- **Por temperatura.** Puesto que la caída de la radiación al atardecer es más rápida que la de la temperatura en el interior de los invernaderos, se recomienda acotar el periodo de funcionamiento, con un límite comprendido entre las 18:00 y las 19:00 h según la duración del periodo de iluminación diaria.
- **Por temperatura y radiación.** Permite una mayor precisión en el manejo del sombreado, de manera que se mejora la integral de radiación que incide sobre el cultivo.

Un adecuado control del sombreado móvil requiere la correcta medida de temperatura y/o radiación, lo que implica la necesidad del calibrado y mantenimiento de los sensores. En particular, el sensor de radiación debe de estar completamente nivelado y limpio y, en caso de situarlo en el interior del invernadero, se recomienda localizarlo en una zona libre del sombreado generado por elementos estructurales.

4. Dinámica de aplicación



El IFAPA, en su **centro La Mojonera (Almería)**, ha desarrollado trabajos de investigación sobre la aplicación del sombreado móvil en cultivos de tomate, pepino y pimiento. Los resultados obtenidos han revelado su efecto positivo sobre la producción y calidad de los frutos, así como sobre la eficiencia del uso del agua y los fertilizantes, si bien han puesto de manifiesto la importancia de precisar la estrategia de aplicación.

- Durante la implantación de los cultivos se recomienda mantener el sombreado todo el día.
- La temperatura de activación del sombreado debe ser al menos 2° C superior a la establecida para la apertura de ventanas.
- Se establecerán distintas fases de control (página 6) según el estado de desarrollo del cultivo y las condiciones térmicas y de radiación que prevalezcan.
- Cuando la malla se instala en el exterior, es necesario disponer de sistema de protección contra el viento. Se recogerá la malla para una velocidad de viento superior a 8 m s⁻¹

Las **consignas de activación** recomendadas se resumen en el siguiente cuadro:



**CICLO
OTOÑO-INVIERNO**

**CICLO
PRIMAVERA**

	Temperatura Interior (°C)	(*) Radiación Exterior (W m ⁻²)
FASE I: Desarrollo foliar bajo. 2 casos:		
a) Elevado nivel de radiación exterior (Integral diaria > 25 MJ m ⁻² d ⁻¹)	> 26	> 300-400
b) Nivel medio de radiación exterior (Integral diaria = 20 - 25 MJ m ⁻² d ⁻¹)	> 28	> 500-600
FASE II: Desarrollo foliar medio-alto.	> 28	> 600
En esta fase, el sombreado se inactivará cuando la integral de radiación diaria en el exterior se mantenga inferior a 20 MJ m ⁻² d ⁻¹ (**)		
FASE I: Desarrollo foliar bajo.		
Reducido nivel de radiación exterior (Integral diaria < 20 MJ m ⁻² d ⁻¹)	> 28	> 550-600
FASE II: Desarrollo foliar medio-alto.		
Elevado nivel de radiación exterior (Integral diaria > 25 MJ m ⁻² d ⁻¹)	> 29	> 600-650

(*) Valores orientativos para una malla del 35% de sombreado. Para mayores porcentajes de sombreado se deberán aumentar las consignas

(**) Consultar datos históricos de la Red de Información Agroclimática de Andalucía, [RIA](#)

Consideraciones

- Nuevas estructuras: Ventilación ↑ / Sombreado ↓
- Instalar mallas móviles / ¿Filtros NIR ? en invernaderos altos evitando obstaculizar la ventilación.
- Precisar en la aplicación del blanqueado y en las consignas de activación de las mallas móviles y sacar partido de la plasticidad morfológica de las plantas.
- Blanquear la cubierta cuando la integral de radiación **>20 MJ m⁻² d⁻¹** y la temperatura **>28°C**
- Controlar la Integral diaria de radiación **> 8 MJ m⁻² d⁻¹**
- El sombreado mitiga el efecto nocivo de la salinidad





pilar.lorenzo@juntadeandalucia.es

IFAPA

<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa>