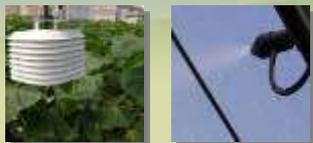


IFAPA



Control de clima en el invernadero

Almería 23 de febrero de 2016

Sistemas de Evaporación de agua: estrategias de manejo en función de las variables climáticas y la fenología del cultivo

Evangelina Medrano Cortés

IFAPA, Centro La Mojonera



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



Refrigeración por Evaporación de Agua

Conceptos básicos:

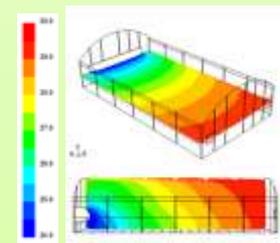
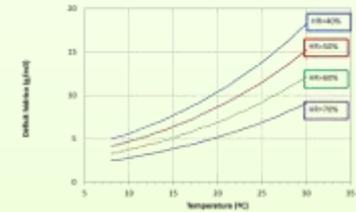
- ✓ Demanda evaporativa del aire
- ✓ Transpiración del cultivo

Tipos

- ✓ Paneles Evaporativos
- ✓ Boquillas de Nebulización

Efecto sobre el aire del invernadero y sobre el cultivo

- ✓ **IFAPA:** P. Lorenzo, M.C. Sánchez-Guerrero, E. Medrano y col.
- ✓ **E E Cajamar:** J.C. López, J.C. Gázquez y col.
- ✓ **Universidad de Thessaly:** C. Kittas, N. Katsoulas y col.



Refrigeración por evaporación de agua

Refrigeración: Eliminación del exceso de carga energética en el interior del invernadero

Evaporación de agua: El cambio de estado de líquido a gaseoso consume energía

λ Calor latente de vaporización de agua 2,5 MJ/kg

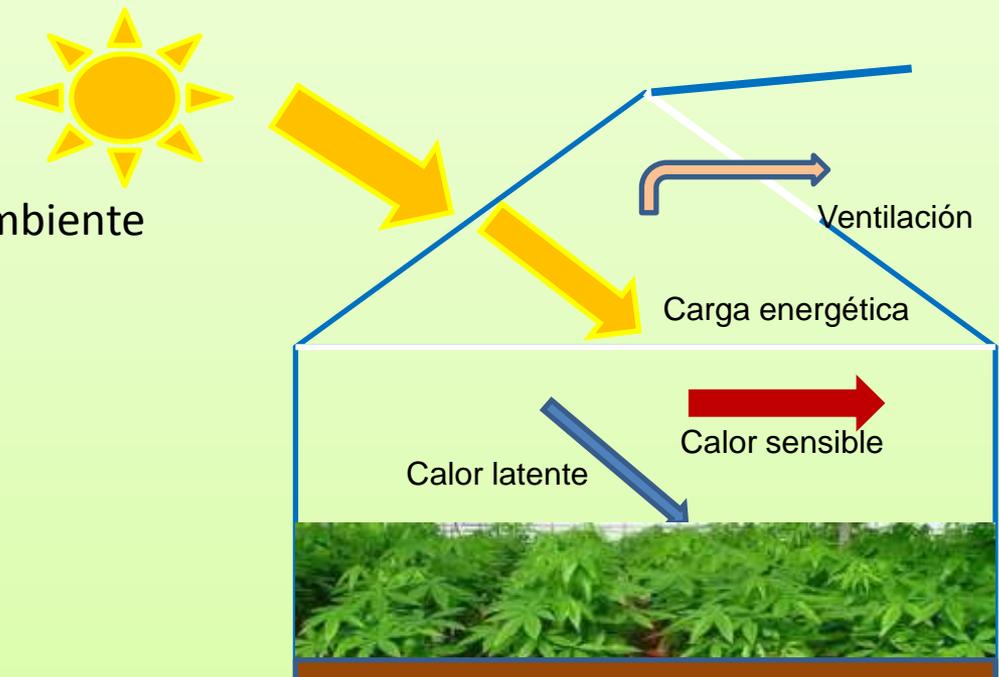
Energía absorbida por 1 kg de agua en el proceso de evaporación

Nebulización

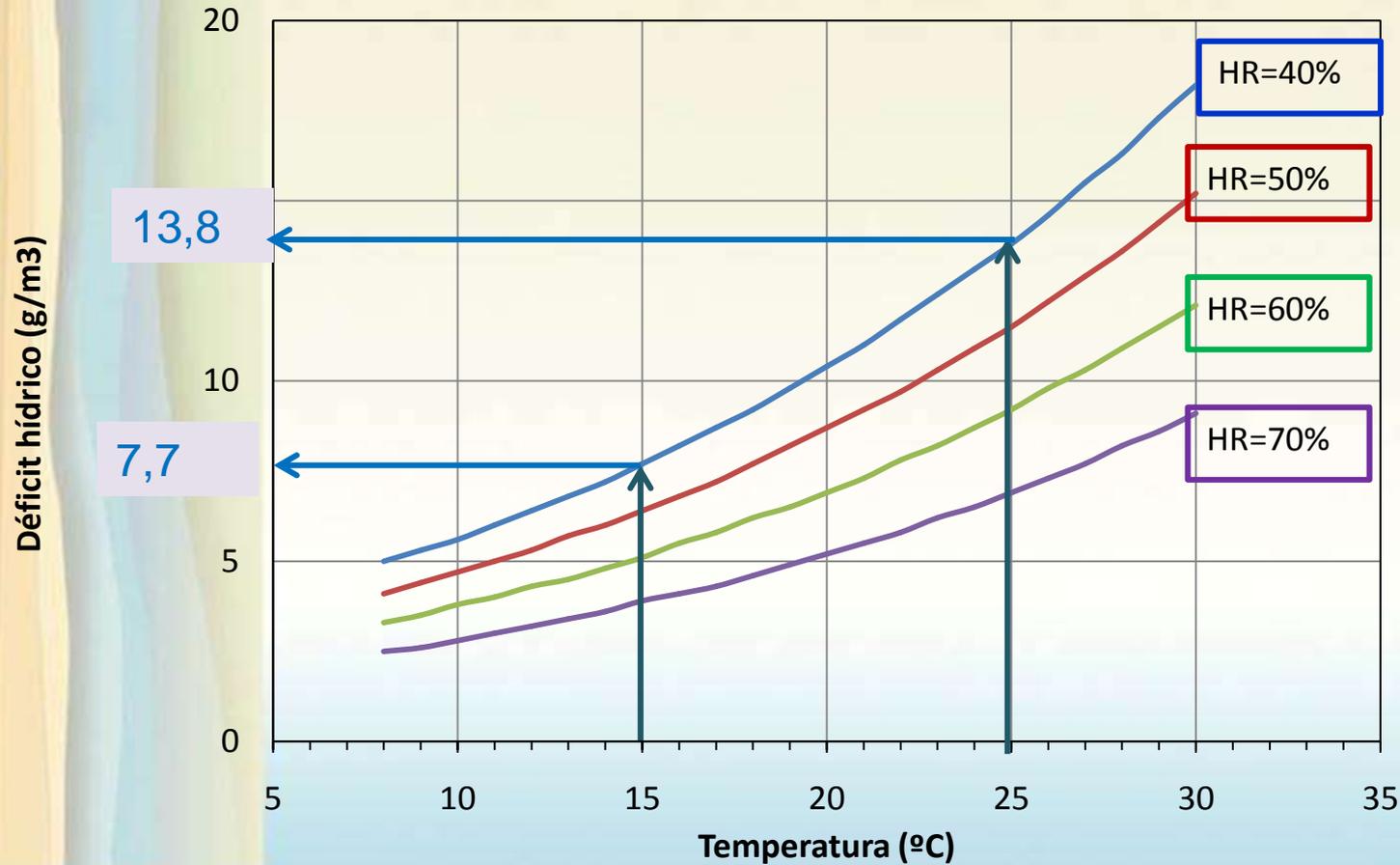
- Reduce la demanda evaporativa del ambiente
- Reduce la temperatura del aire

Tipos

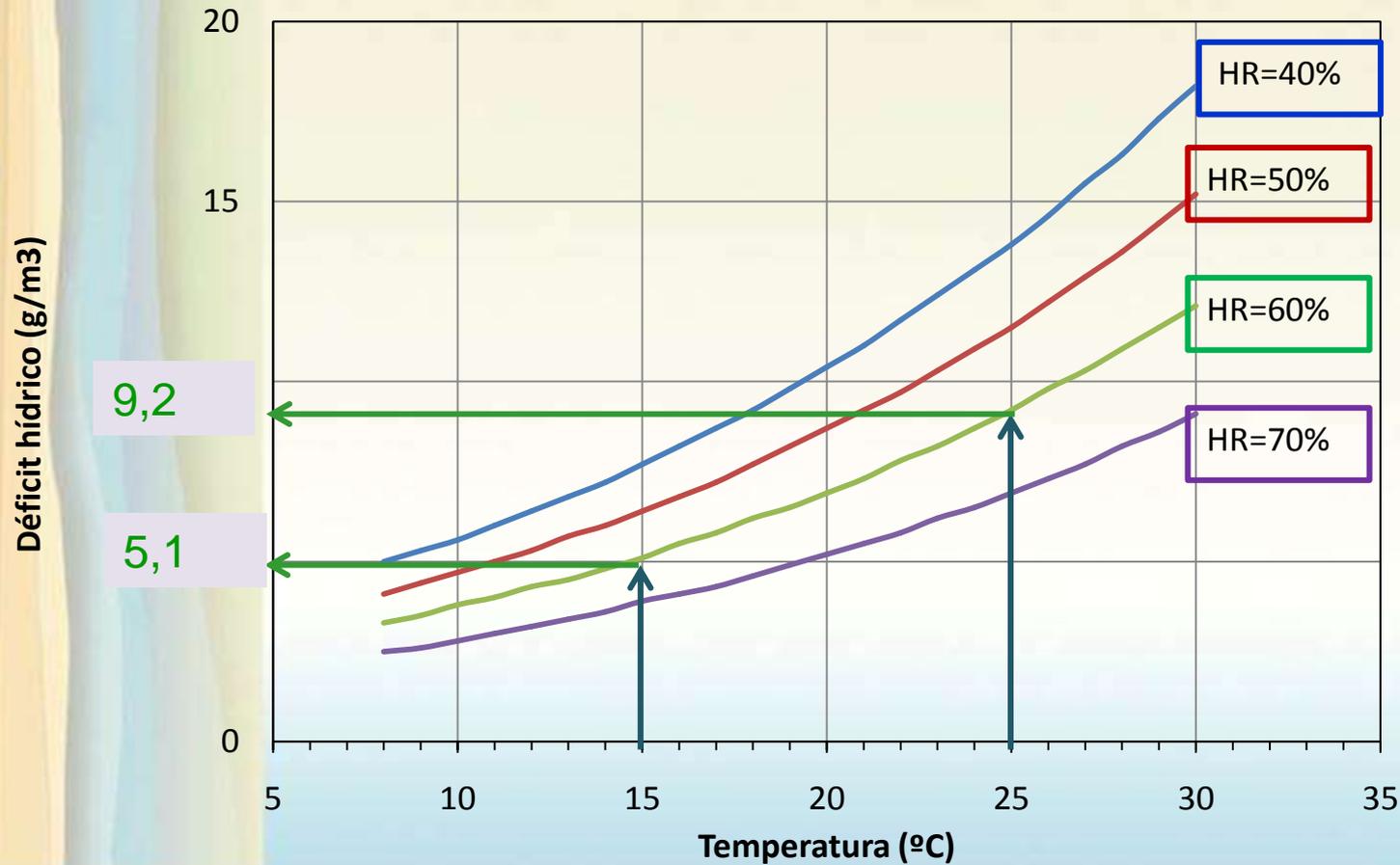
- Paneles evaporativos
- Boquillas de Nebulización



Déficit Hídrico (g/m^3): Gramos de vapor de agua que puede admitir 1 m^3 de aire en unas condiciones determinadas (Temperatura y Humedad Relativa) para alcanzar el estado de saturación.



Déficit Hídrico (g/m^3): Gramos de vapor de agua que puede admitir 1 m^3 de aire en unas condiciones determinadas (Temperatura y Humedad Relativa) para alcanzar el estado desaturación.

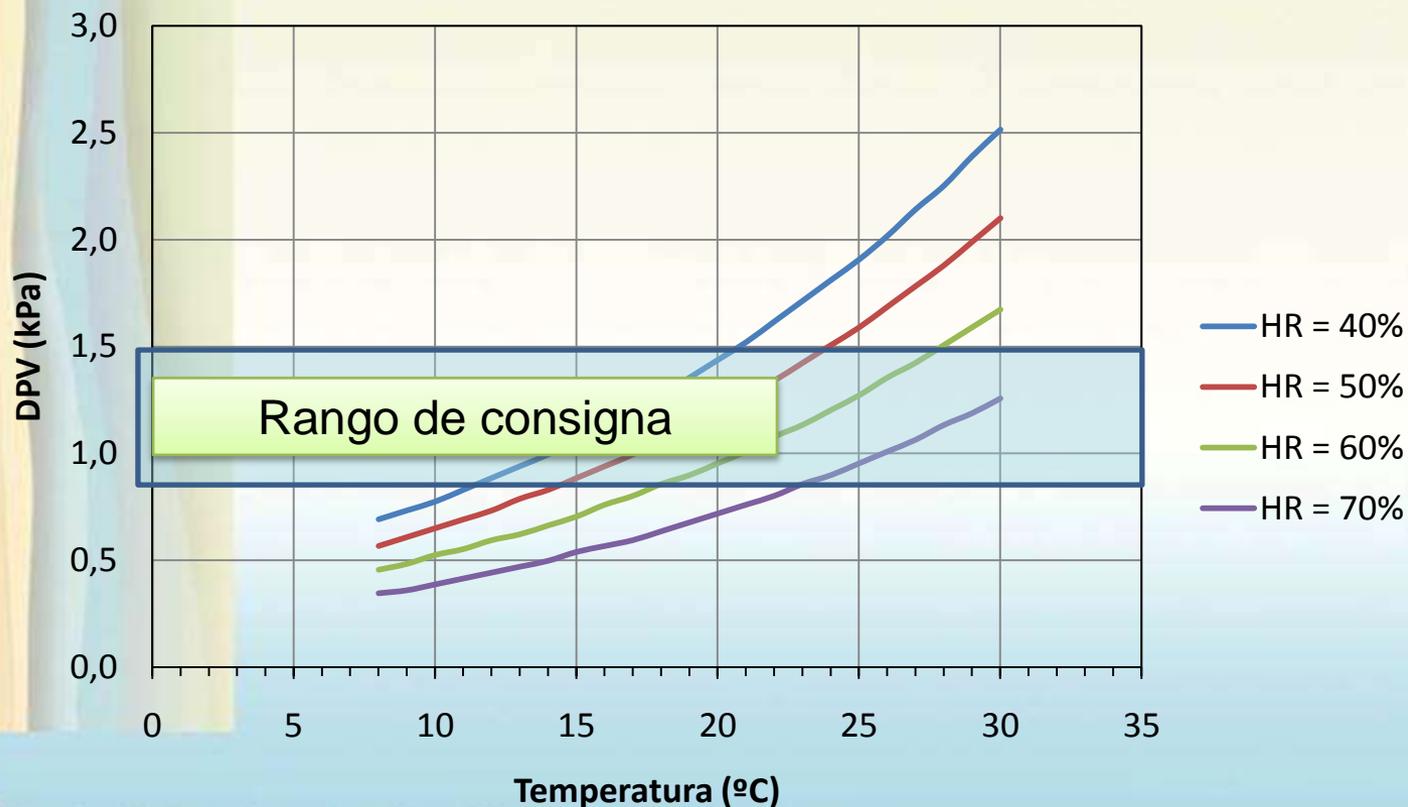


Déficit de presión de vapor (kPa): Diferencia entre la presión del vapor de agua que habría cuando el aire estuviera saturado de agua (e_s) y la existente en el aire (e) en unas determinadas condiciones.

$$\text{DPV (kPa)} = 0,1382 \text{ DH (g/m}^3\text{)} \quad (1 \text{ kPa} \sim 7 \text{ g/m}^3)$$

$$\text{DPV} = e_s - e$$

$$\text{HR} = 100 e/e_s$$



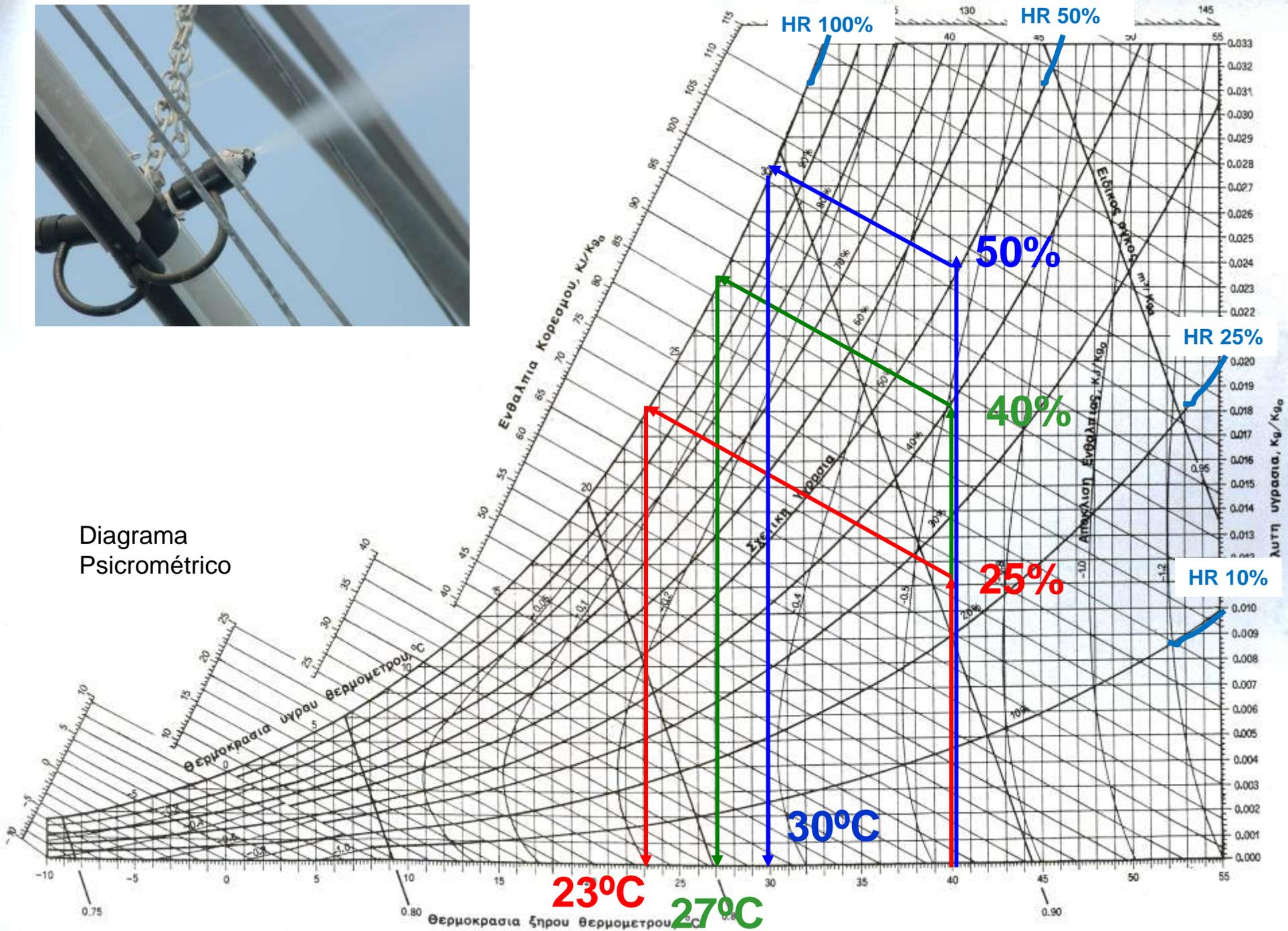
La eficiencia de la nebulización aumenta cuanto menor es la humedad relativa en el interior del invernadero (fase inicial del cultivo) o bien cuanto más árido es el clima exterior.



Cultivo de pimiento
invernadero parral mejorado
con blanqueo



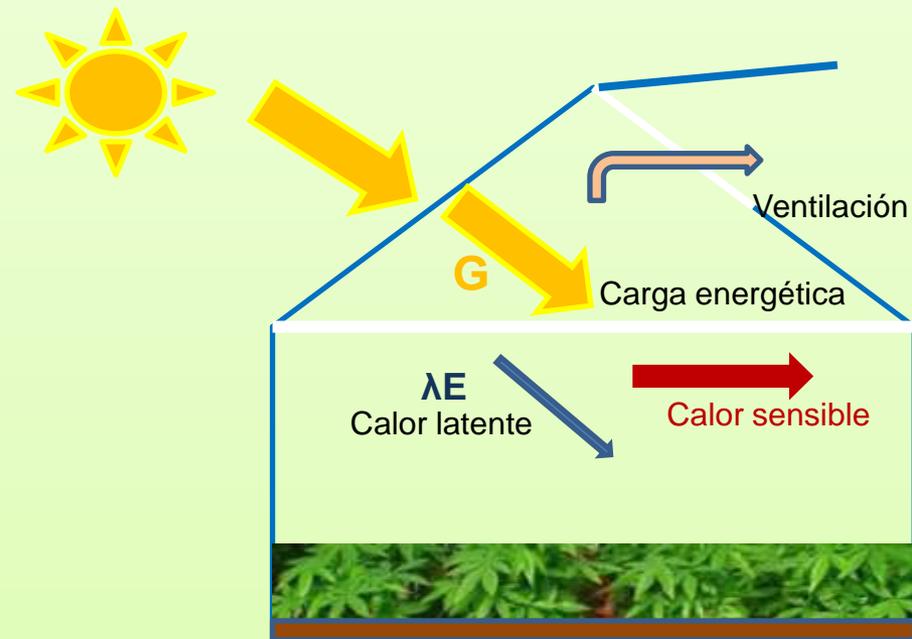
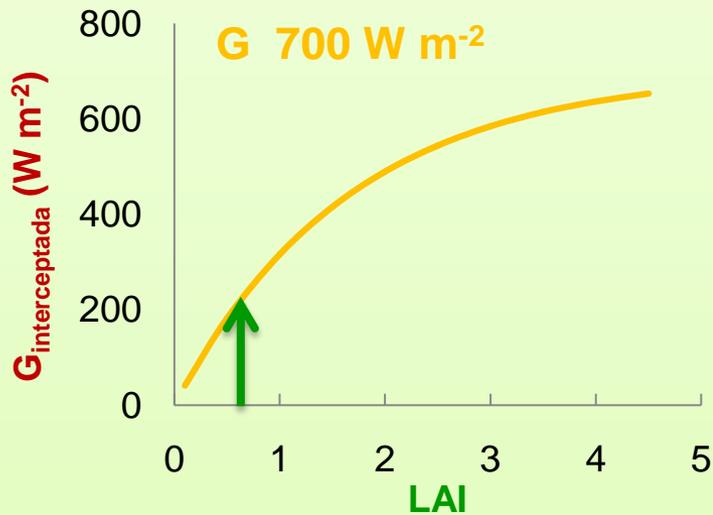
Diagrama Psicrométrico



Tasa de transpiración del cultivo \rightleftharpoons Clima del Invernadero

$$\lambda E = a G_{\text{Interceptada}} + b \text{ LAI DPV}$$

(a y b coef. según cultivo)

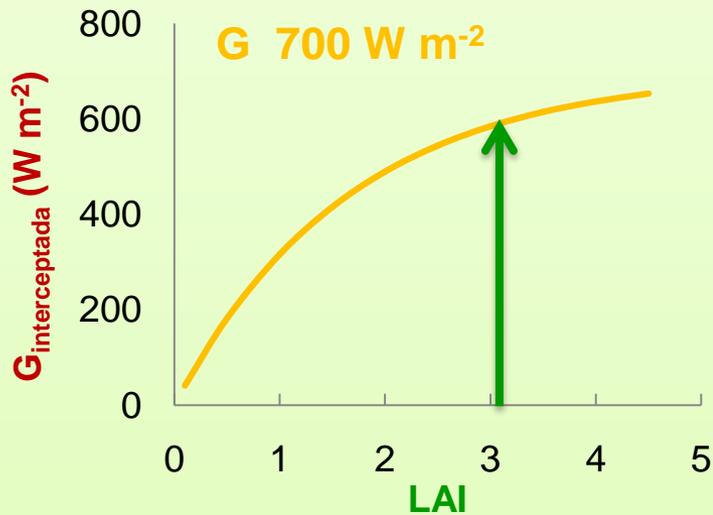


LAI = m^2 hoja / m^2 suelo

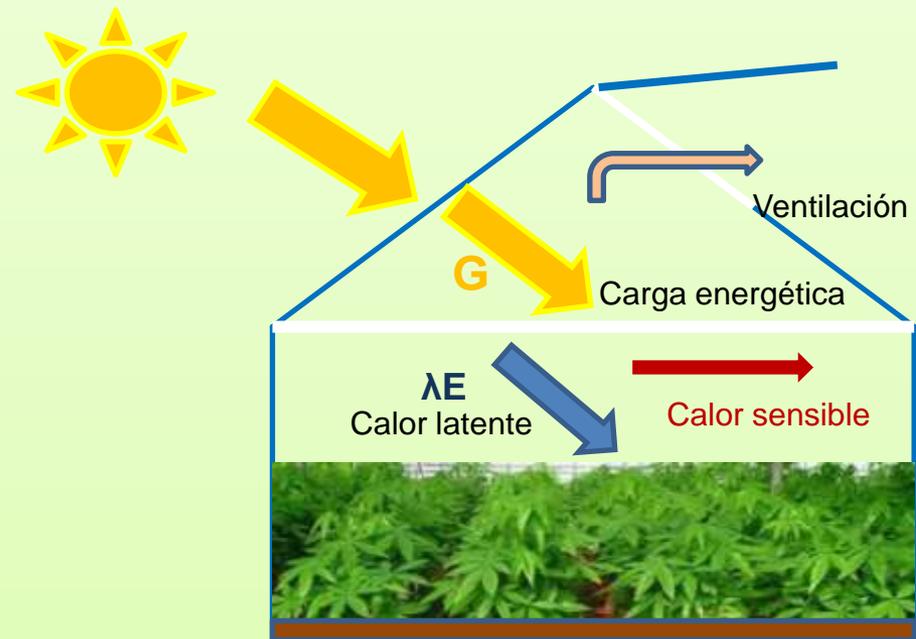
Tasa de transpiración del cultivo \rightleftharpoons Clima del Invernadero

$$\lambda E = a G_{\text{Interceptada}} + b \text{ LAI DPV}$$

(a y b coef. según cultivo)

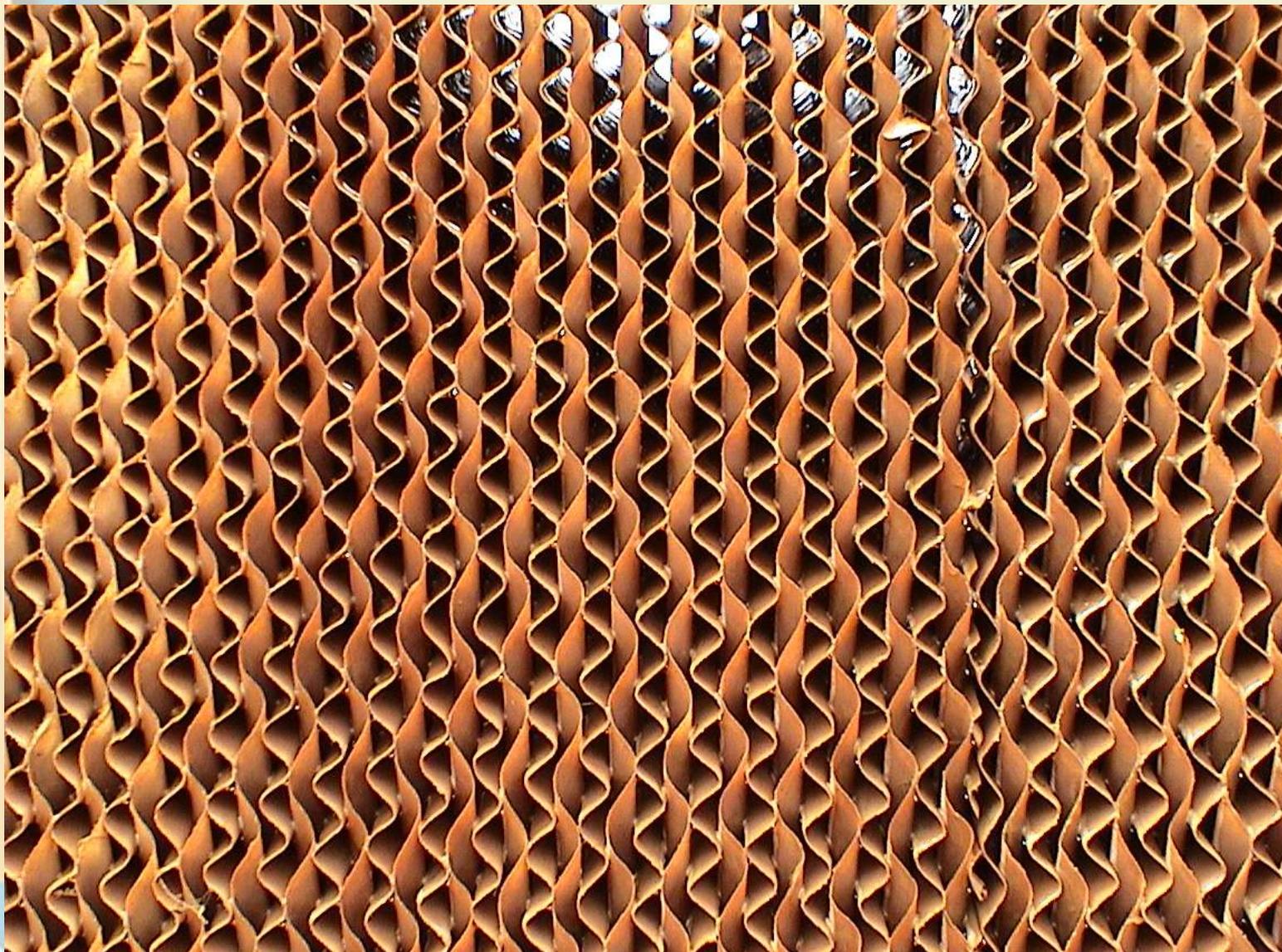


$\text{LAI} = \text{m}^2 \text{ hoja/m}^2 \text{ suelo}$



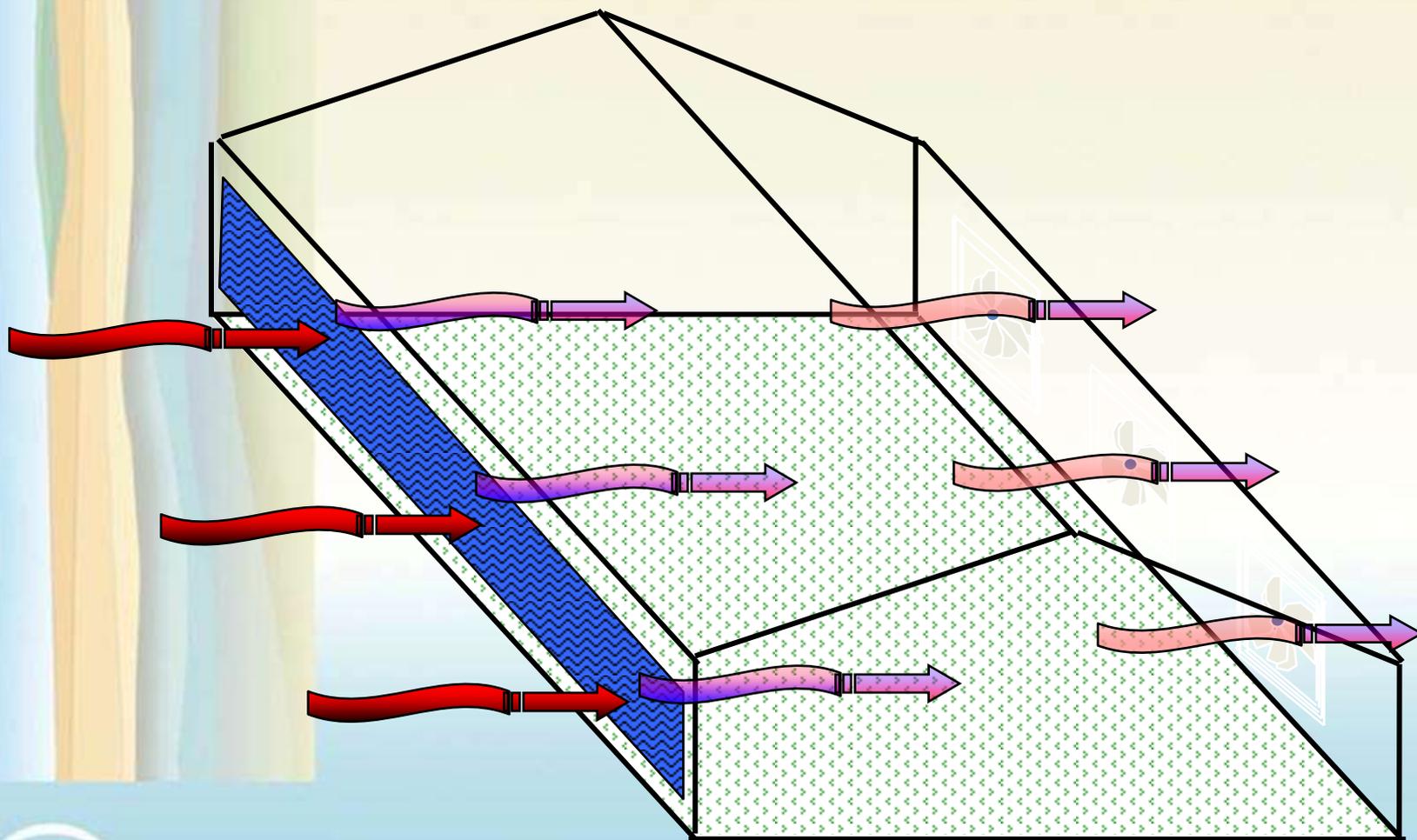
Paneles evaporativos

Nebulización



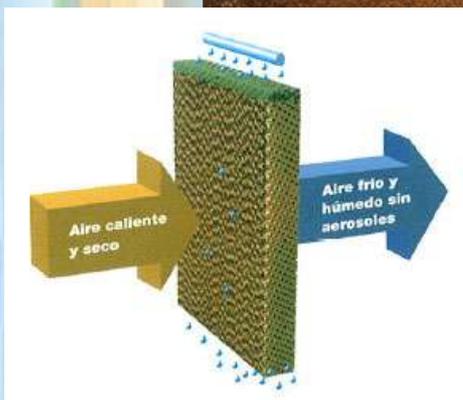
Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, PESCA Y DESARROLLO RURAL

Paneles evaporativos



Paneles evaporativos

- Paneles de celulosa corrugada o fibra
- Bomba circulación de agua
- Extractor enfrentado al panel



Invernaderos herméticos: evitar la entrada de aire seco del exterior
Aumenta su eficacia con la combinación con mallas de sombreo

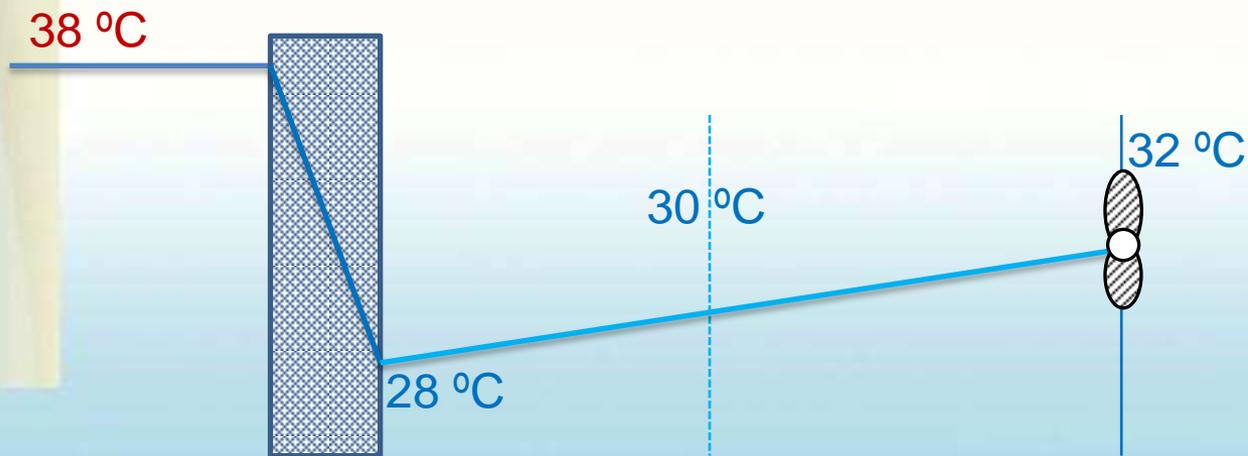
Paneles evaporativos

Ventajas:

- No moja el cultivo
- Funcionamiento y control sencillos
- DPV inferior a los sistemas de ventilación forzada o natural

Inconvenientes

- Gradiente de Temperatura y Humedad
- Instalación cara
- Obstrucción progresiva de los paneles
- Elevado gasto de agua



Paneles evaporativos

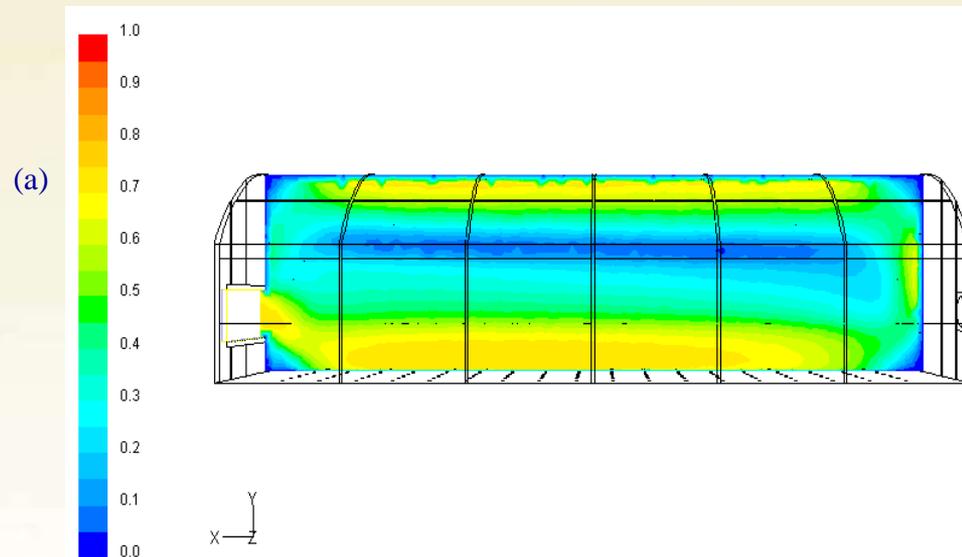
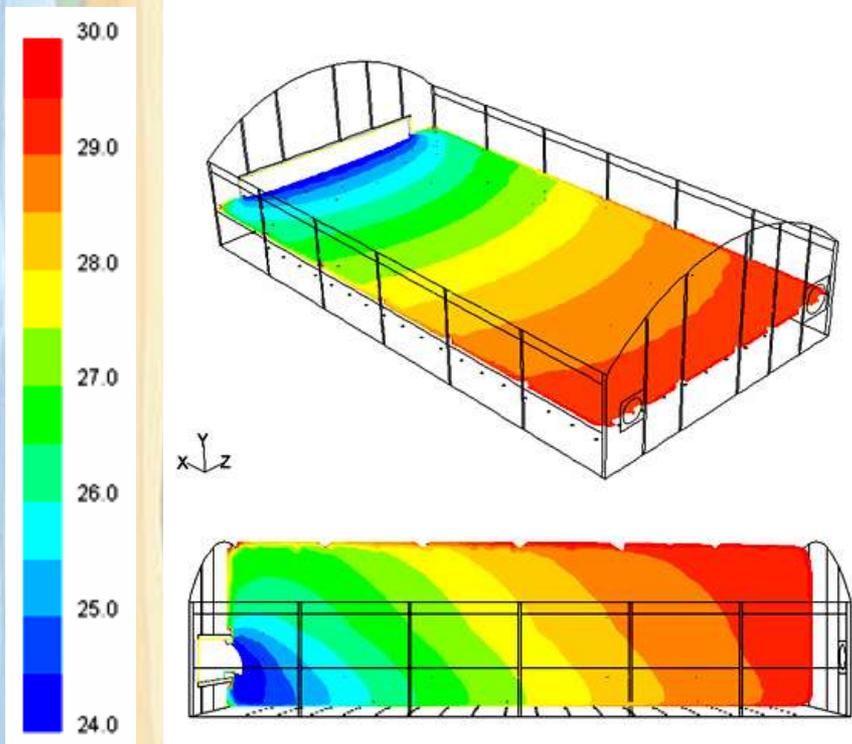


Diagrama de temperaturas del aire

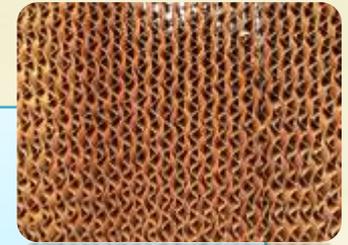
a) Plano horizontal 1,2 m sobre la superficie de suelo

b) Plano vertical en el centro del invernadero
z=4,0 m, (24 – 30 °C)

Velocidad del aire
z=4,0 m, (rango 0,0 – 1,0 m/s)

Sapounas et al. 2008

Prescripciones Técnicas



PANEL EVAPORATIVO

- Material de gran superficie y buenas propiedades de humectación
- Grosor: 100 – 200 mm
- Evitar cualquier rotura por donde pueda pasar el aire seco del exterior
- Evitar la radiación directa: zonas secas donde se pueden acumular las sales y el polvo
- Superficie de panel: 1 m² por cada 20-30 m² de superficie de invernadero



EXTRACTORES

- Distancia máxima panel-ventilador: 30 – 40 m
- Distancia entre ventiladores: 7,5 – 10 m. Evitar las líneas de cultivo
- Activación cuando el panel esté completamente mojado
- Desactivación antes de que pare el flujo de agua por el panel

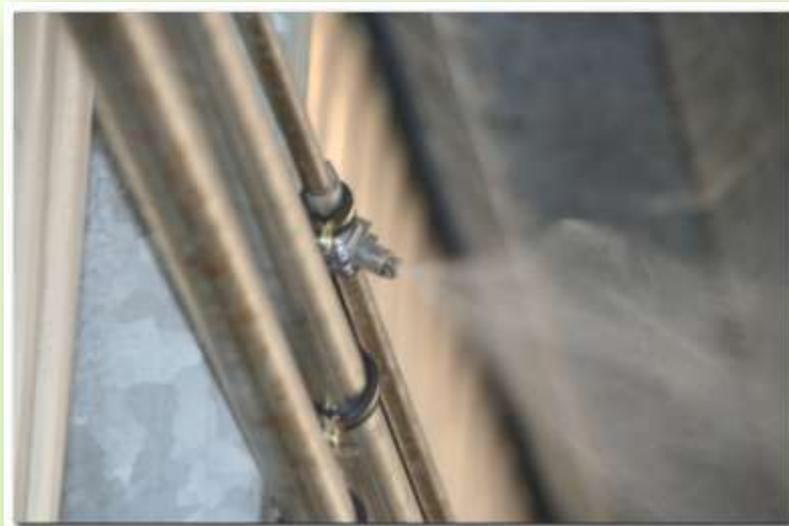
Boquillas de Nebulización

- Distribución de gotas de agua de pequeño tamaño en el aire.
- Temperatura y humedad uniforme en el aire del invernadero.
- Instalación a la mayor altura posible para aumentar la superficie de contacto gota-aire.
- Líneas de boquillas perpendiculares al cultivo.
- Forma de la gota: presión de nebulización y tipo de boquilla.
- Requiere alto nivel de mantenimiento: Obturación de válvulas y boquillas.



Boquillas de Nebulización

Alta Presión



Baja Presión

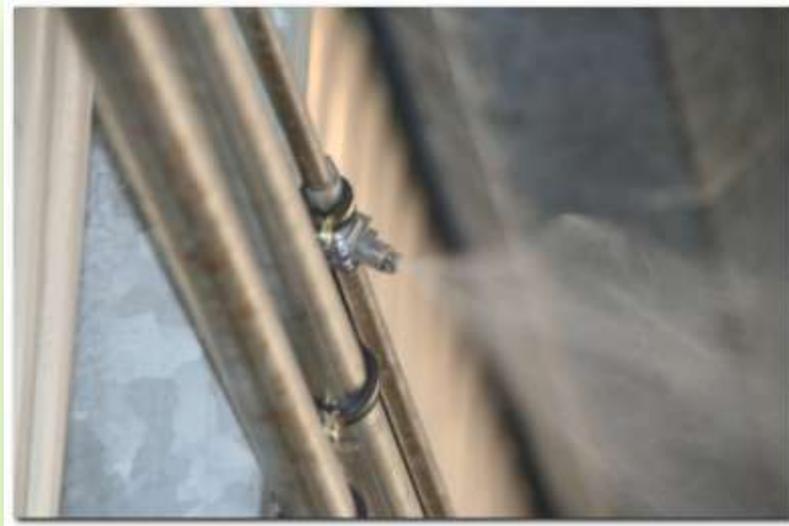


Aire - Agua



Boquillas de Nebulización

Alta Presión



Presión de trabajo 40 kg/cm²
Diámetro de la gota < 10 micras
Agua de buena calidad
No moja el cultivo
Tuberías de acero inoxidable
Coste elevado de instalación y mantenimiento

Boquillas de Nebulización

Aire - Agua



Presión de trabajo: aire 6-8 kg/cm² ; agua 2-3 kg/cm²

Diámetro de la gota 10 - 20 micras

Agua de moderada calidad

Requiere la utilización de un compresor

Doble red de tubería aire - agua

Boquillas de Nebulización

Baja presión



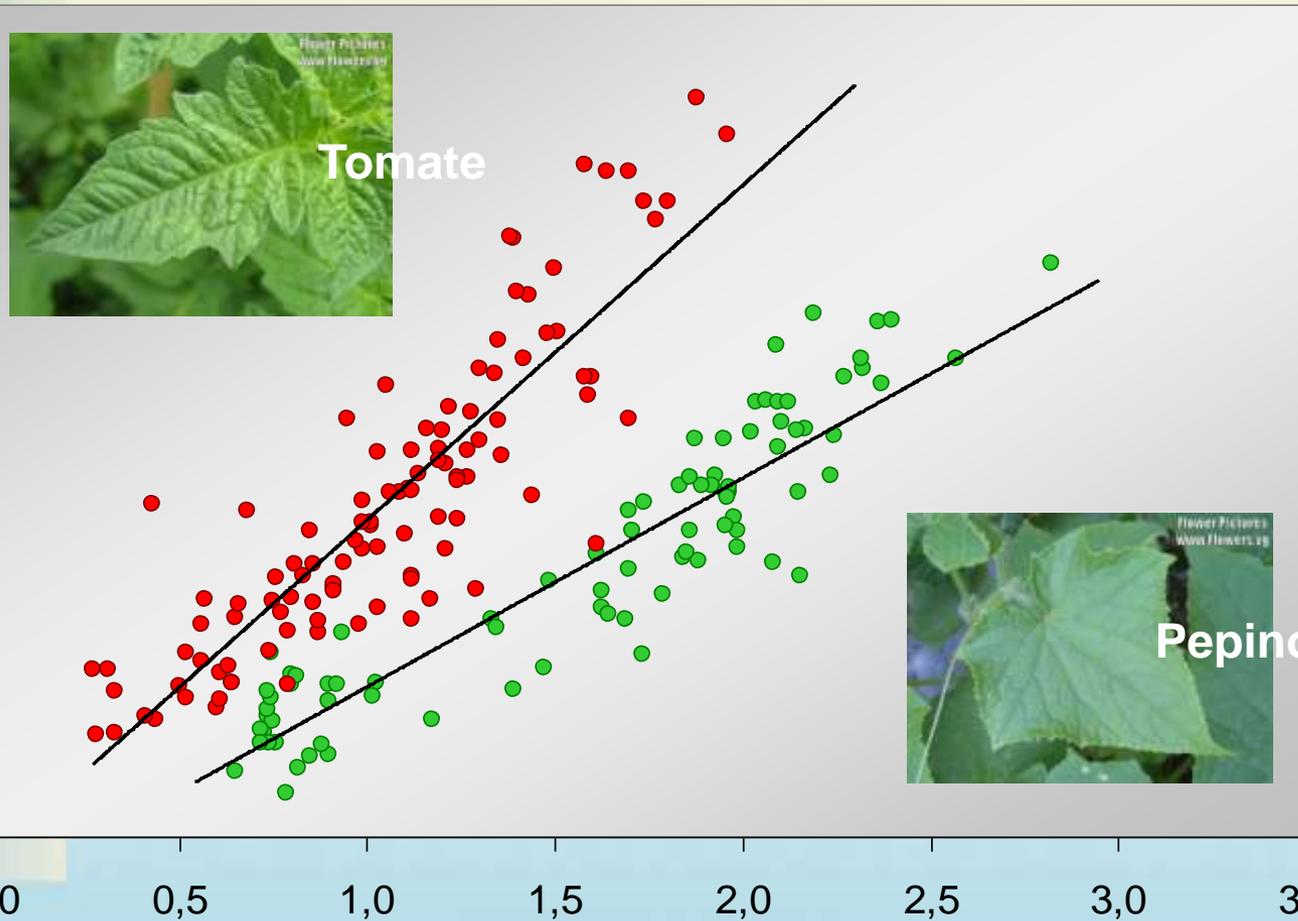
- Presión de trabajo: 3 – 6 kg/cm²
- Diámetro de la gota 50 – 100 micras
- No requiere agua de buena calidad
- Tuberías de polietilieno
- Puede mojar el cultivo
- Menor coste de instalación y mantenimiento
- Mayor consumo de agua

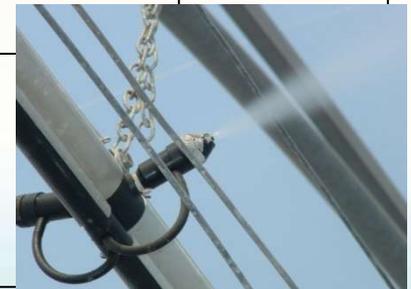
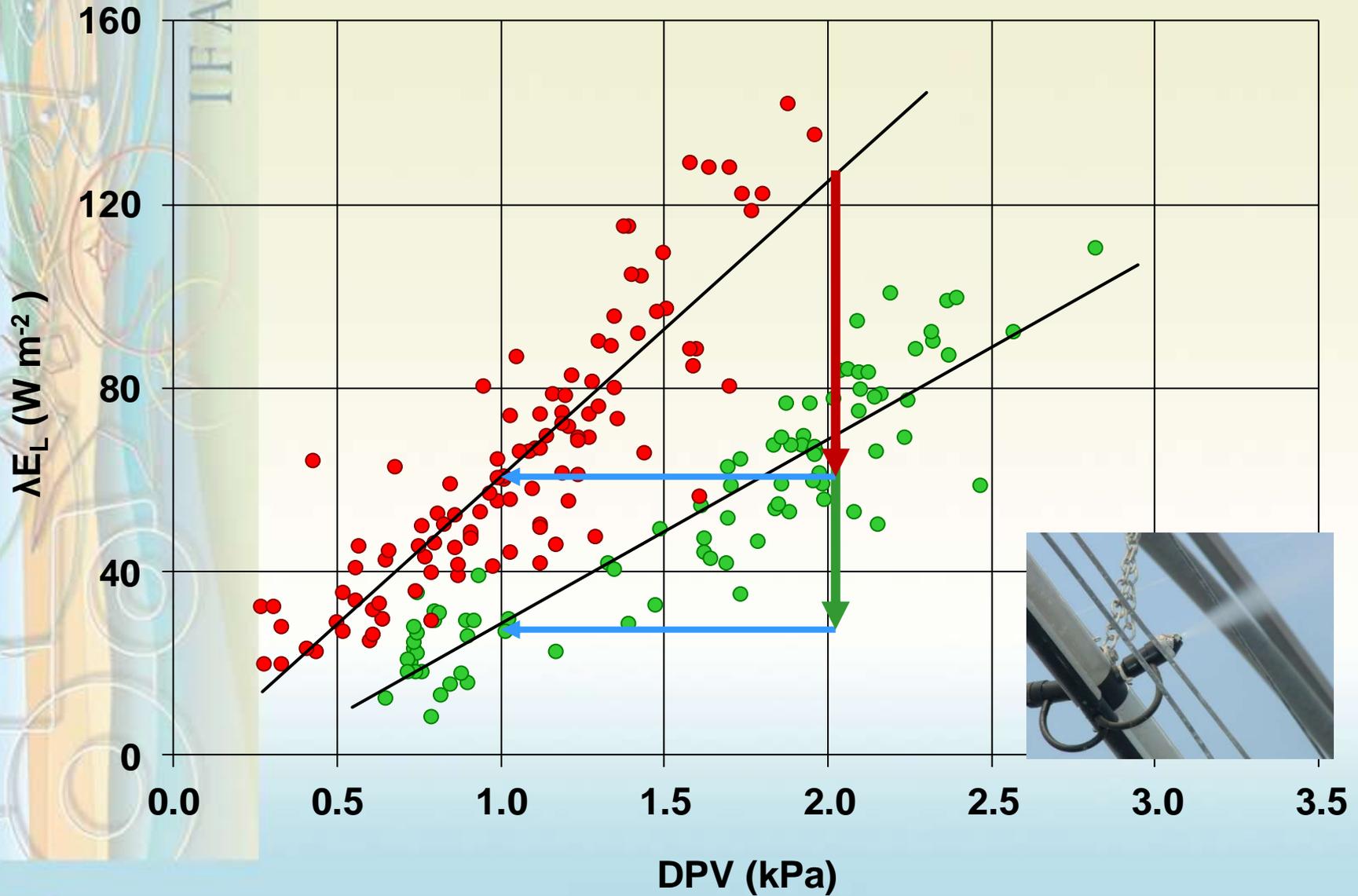
Efecto de la Nebulización sobre el aire del invernadero y el cultivo



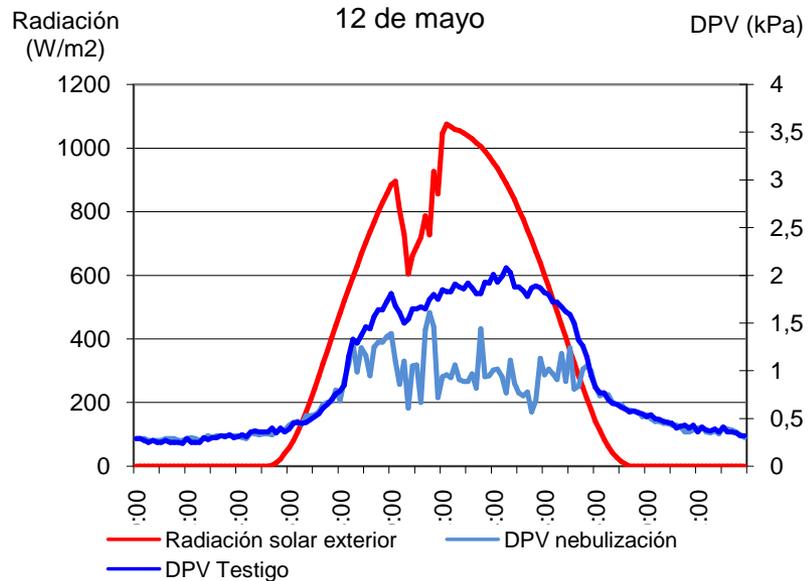
Diferente respuesta de los cultivos a la reducción del DPV

Transpiración por Superficie de Hoja



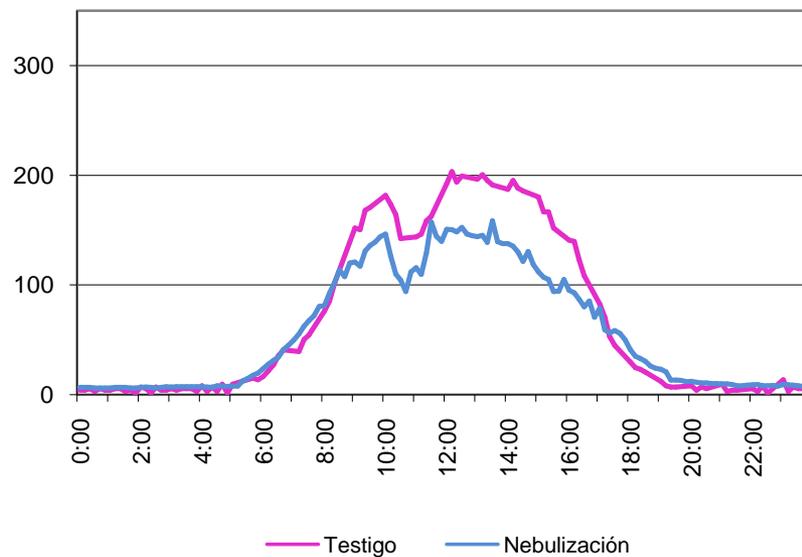


Nebulización v.s. Consumo agua

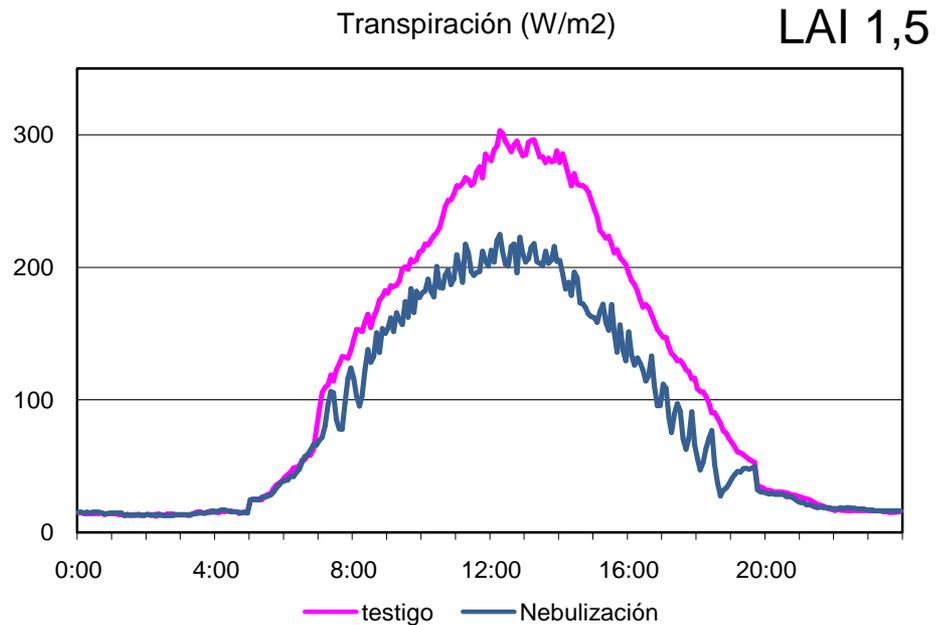
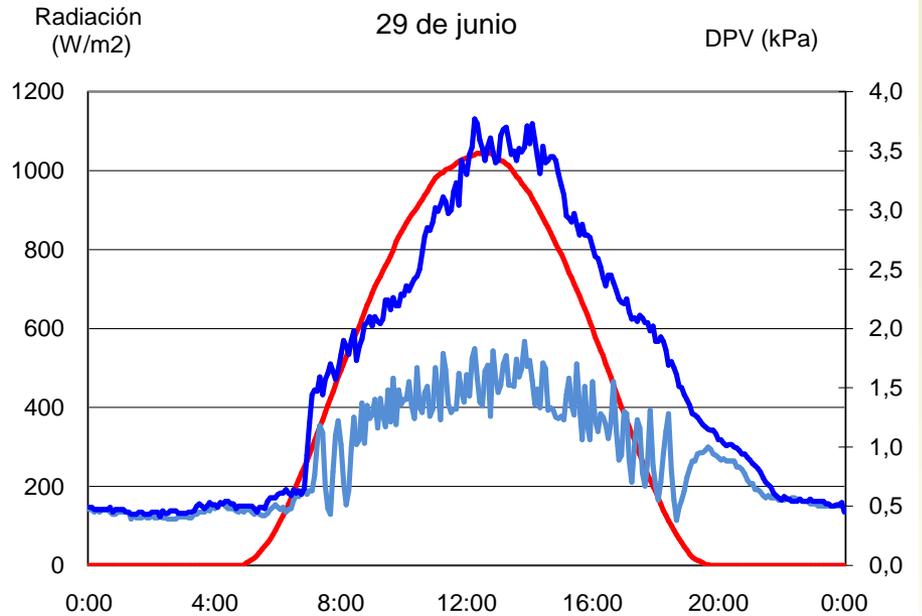


Transpiración (W/m²)

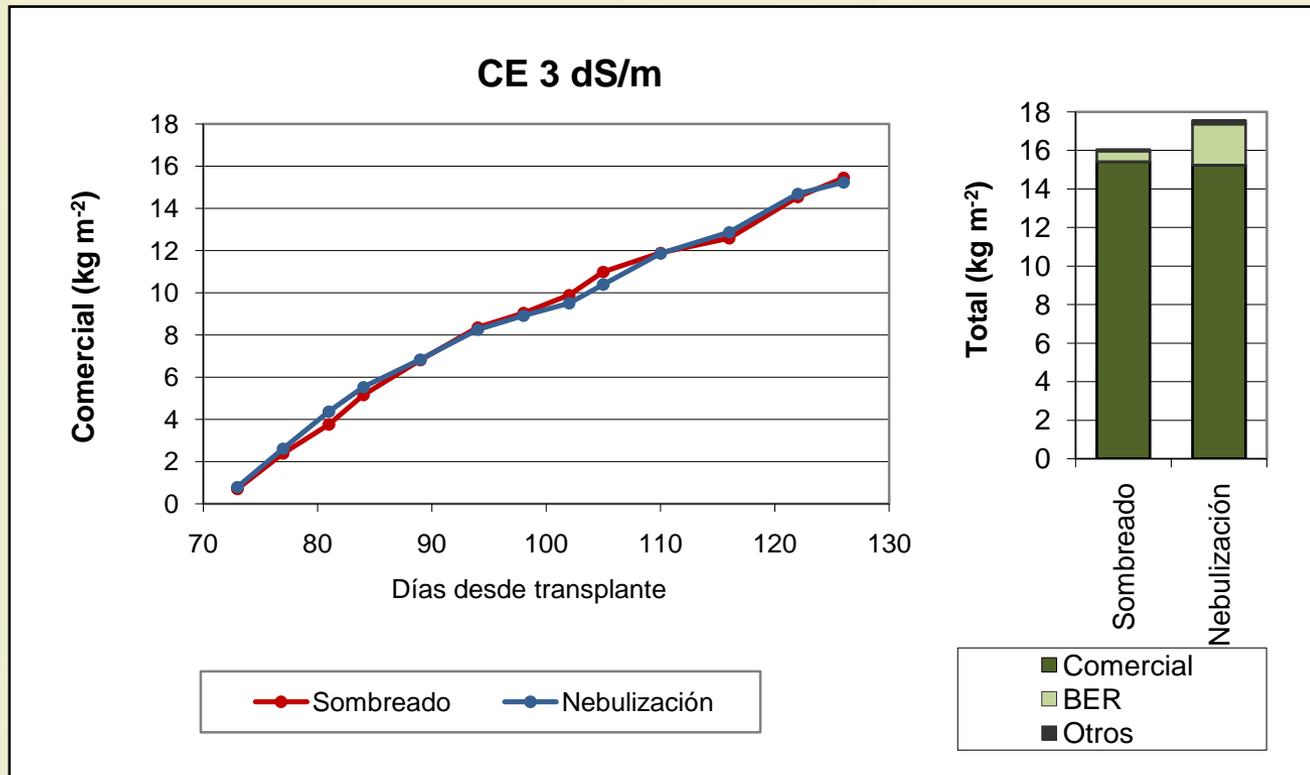
LAI 1



Nebulización v.s. Consumo agua



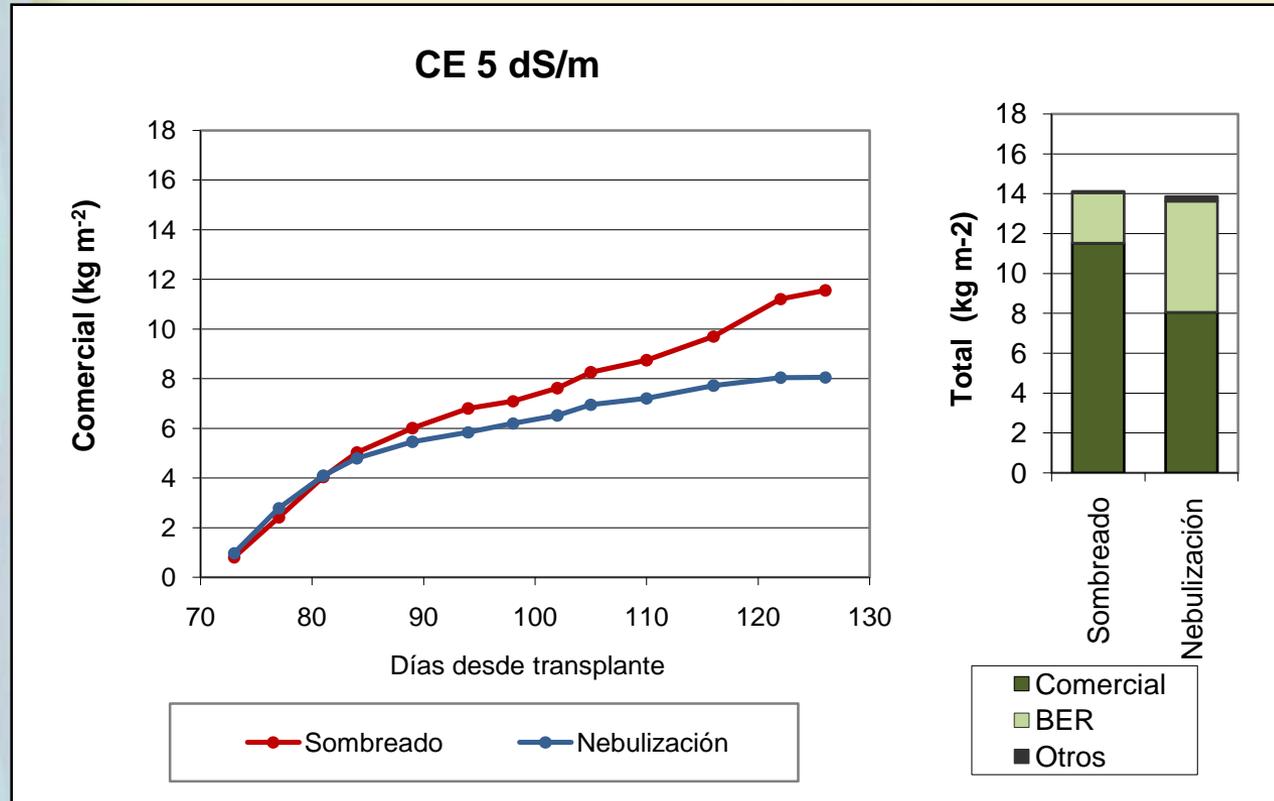
Lorenzo y col. 2004



Medrano y col. 2004

Sistema	Agua consumida L/m ²	Agua Nebulización L/m ²	Eficiencia hídrica g/L
Sombreado	367		42
Nebulización	418	116	29



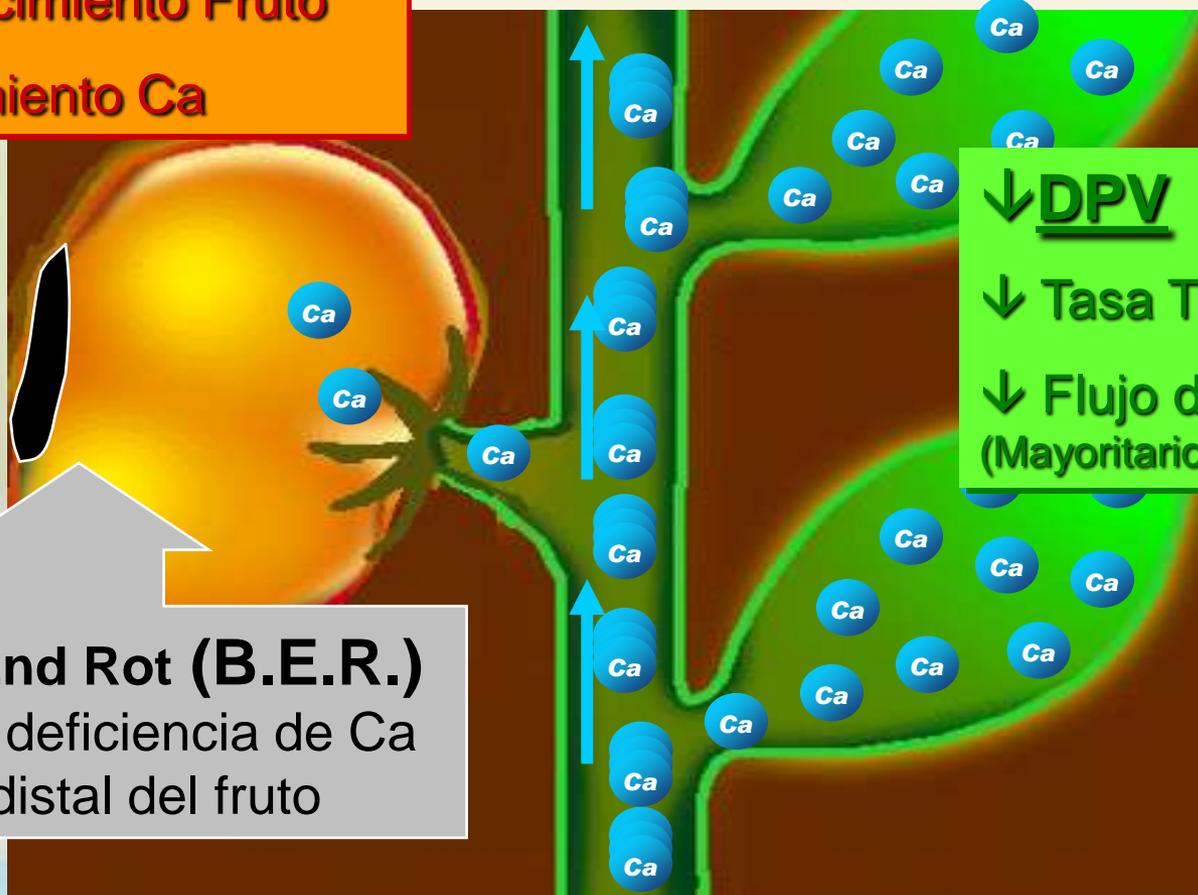


Lorenzo y col. 2004



↑ Radiación ↘
↑ Tasa Crecimiento Fruto
↑ Requerimiento Ca

El Calcio se mueve principalmente con el flujo de transpiración



↓ DPV ↘
↓ Tasa Transpiración
↓ Flujo de Ca
(Mayoritario hacia las hojas)

Blossom End Rot (B.E.R.)
Asociado a deficiencia de Ca en la zona distal del fruto

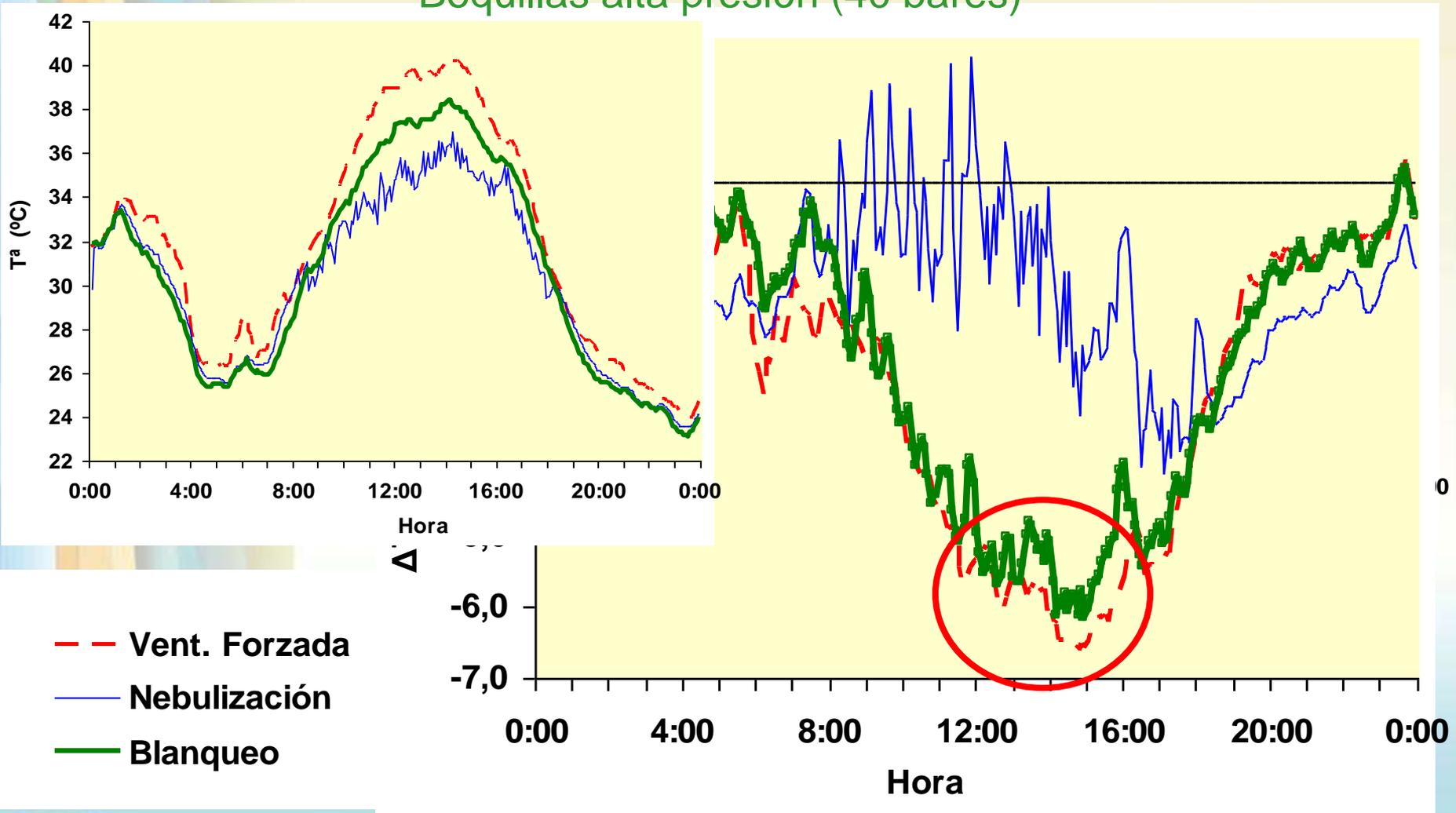
Efecto sobre la temperatura del aire y de la hoja

Cultivo de pimiento

Invernaderos multitúnel

Boquillas alta presión (40 bares)

Gázquez y col. 2010



24 de Agosto 2004 = 34 ddt

Efecto sobre la temperatura del aire y de la hoja
 Cultivo de pimiento
 Invernaderos multitúnel
 Boquillas alta presión (40 bares)

Gázquez y col. 2010



		CAMPAÑA 2004/2005	Saez, 2005
	COMERCIAL	NO COMERCIAL	BLOSSOM
VENT.FORZADA	9,5 A	1,4 B	0,9 AB
FOG SYSTEM (DPV= 1,5 kPa)	9,8 A	2,0 A	1,1 A
BLANQUEO (1/4)	10,5 A	1,2 A	0,7 B

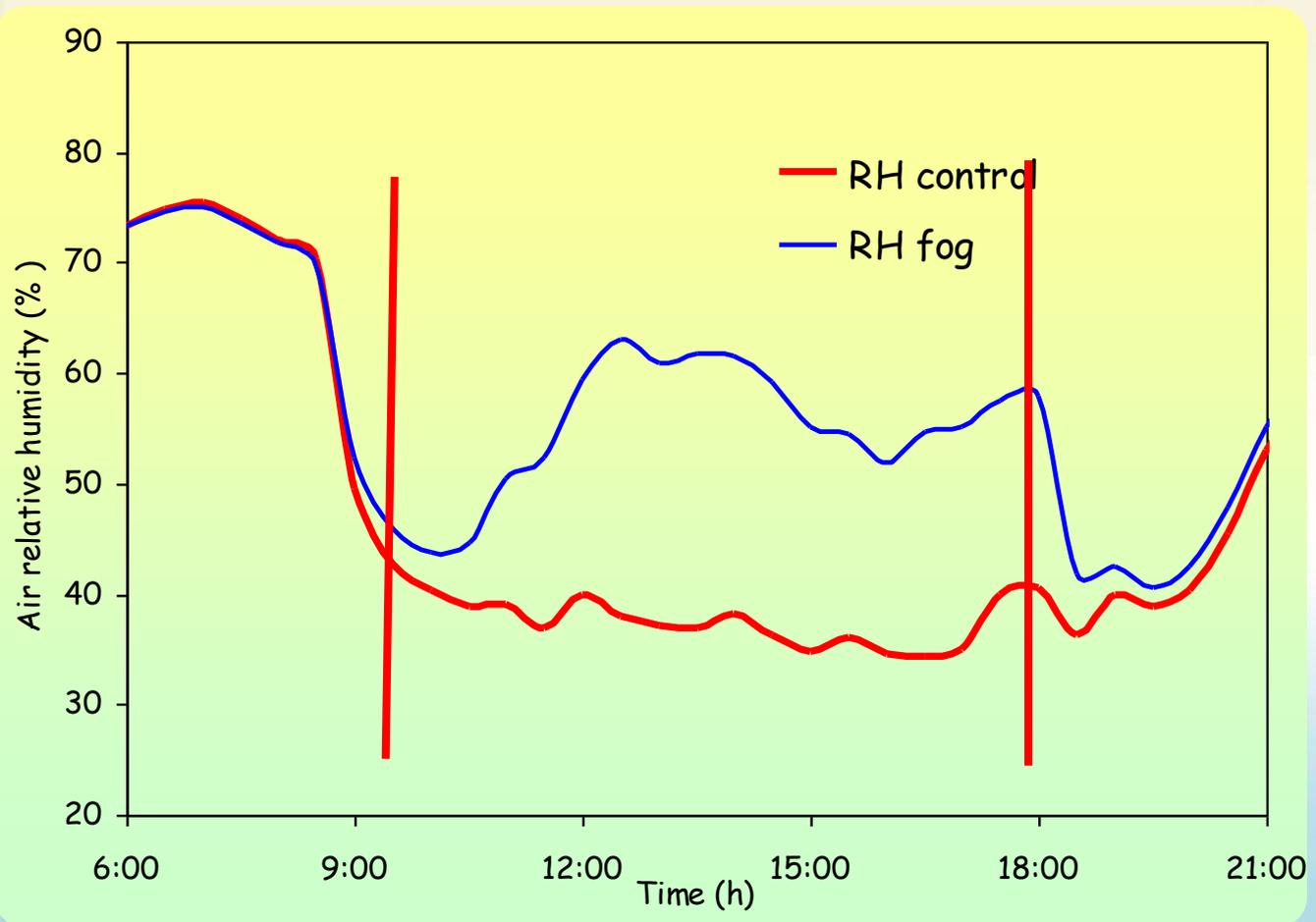
Efecto sobre la humedad del del aire

Cultivo de pimiento

Invernaderos con malla móvil interior

Boquillas alta presión (40 bares)

Katsoulas et al., 2006

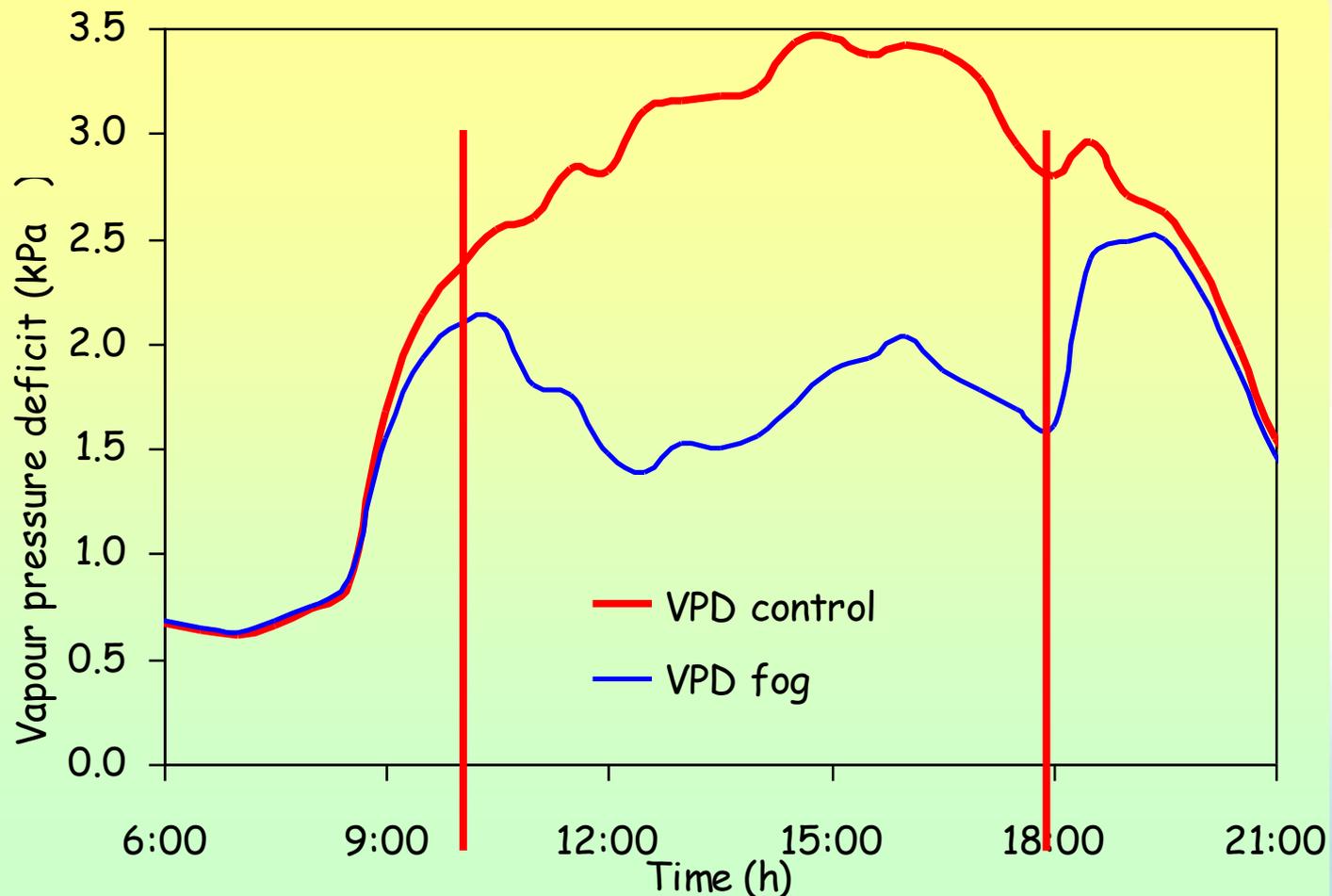


Efecto sobre la presión del aire

Cultivo de pimiento

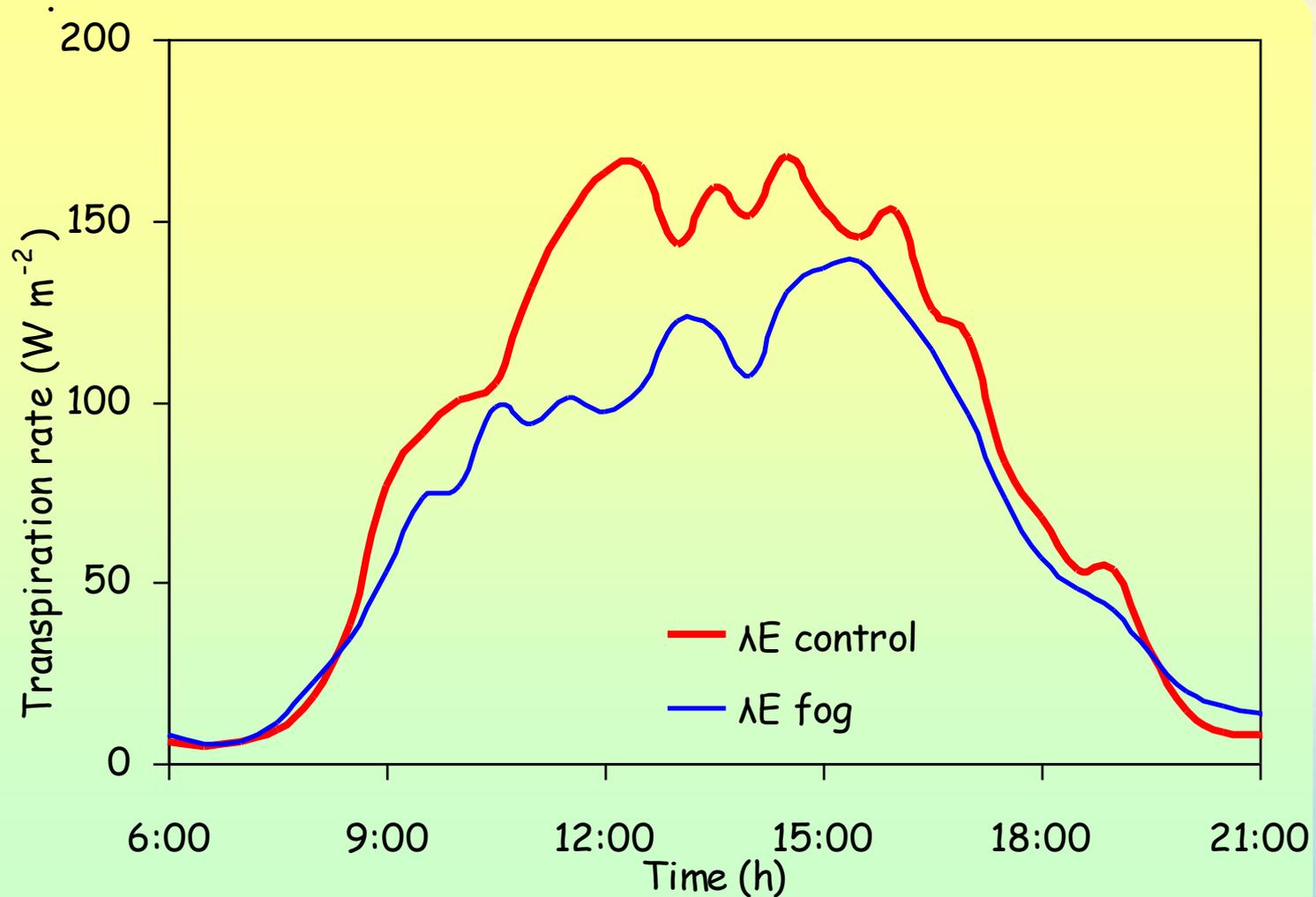
Invernaderos con malla móvil interior

Katsoulas et al., 2006



Efecto sobre Transpiración del cultivo Cultivo de pimiento Invernaderos con malla móvil interior

Katsoulas et al., 2006



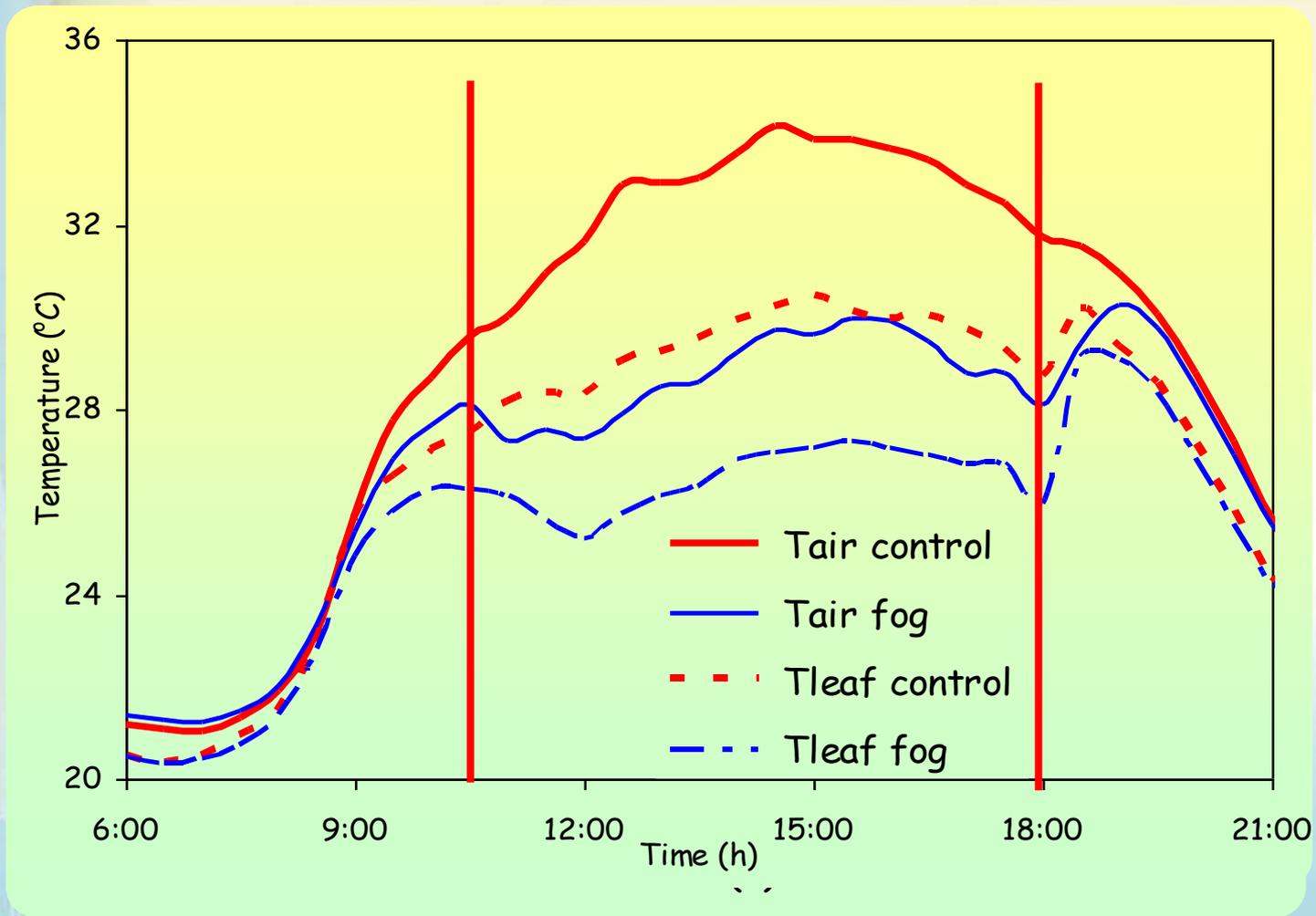
Efecto sobre la temperatura del aire y de la hoja

Cultivo de pimiento

Invernaderos con malla móvil interior

Boquillas alta presión (40 bares)

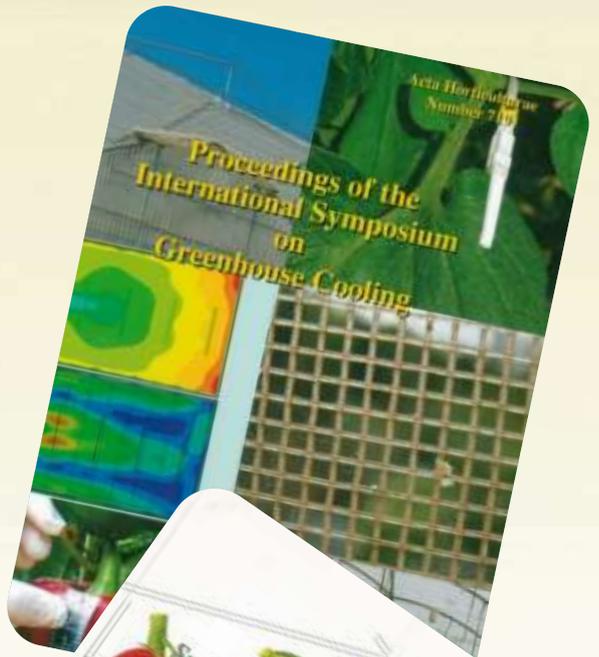
Katsoulas et al., 2006



Las interrelaciones que se establecen entre el clima generado con los sistemas de refrigeración por evaporación y la absorción hídrica son muy diversas.



- Reducen la temperatura y el déficit hídrico del invernadero limitando a su vez la transpiración del cultivo.
- Son muy eficientes en las primeras fases de desarrollo del cultivo.
- Compensan las limitaciones de ventilación.
- Cuando el cultivo está desarrollado, son menos eficientes y se podría sustituir por una buena gestión de la ventilación.
- En especies sensibles a deficiencia de Ca, combinar con técnicas de sombreado en la fase de desarrollo de fruto.
- Necesitan la disponibilidad de agua de buena calidad.



Centro IFAPA La Mojonera
Camino de San Nicolás, nº 1. 04745. La Mojonera. Almería
Teléfono 950-156453
<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa>

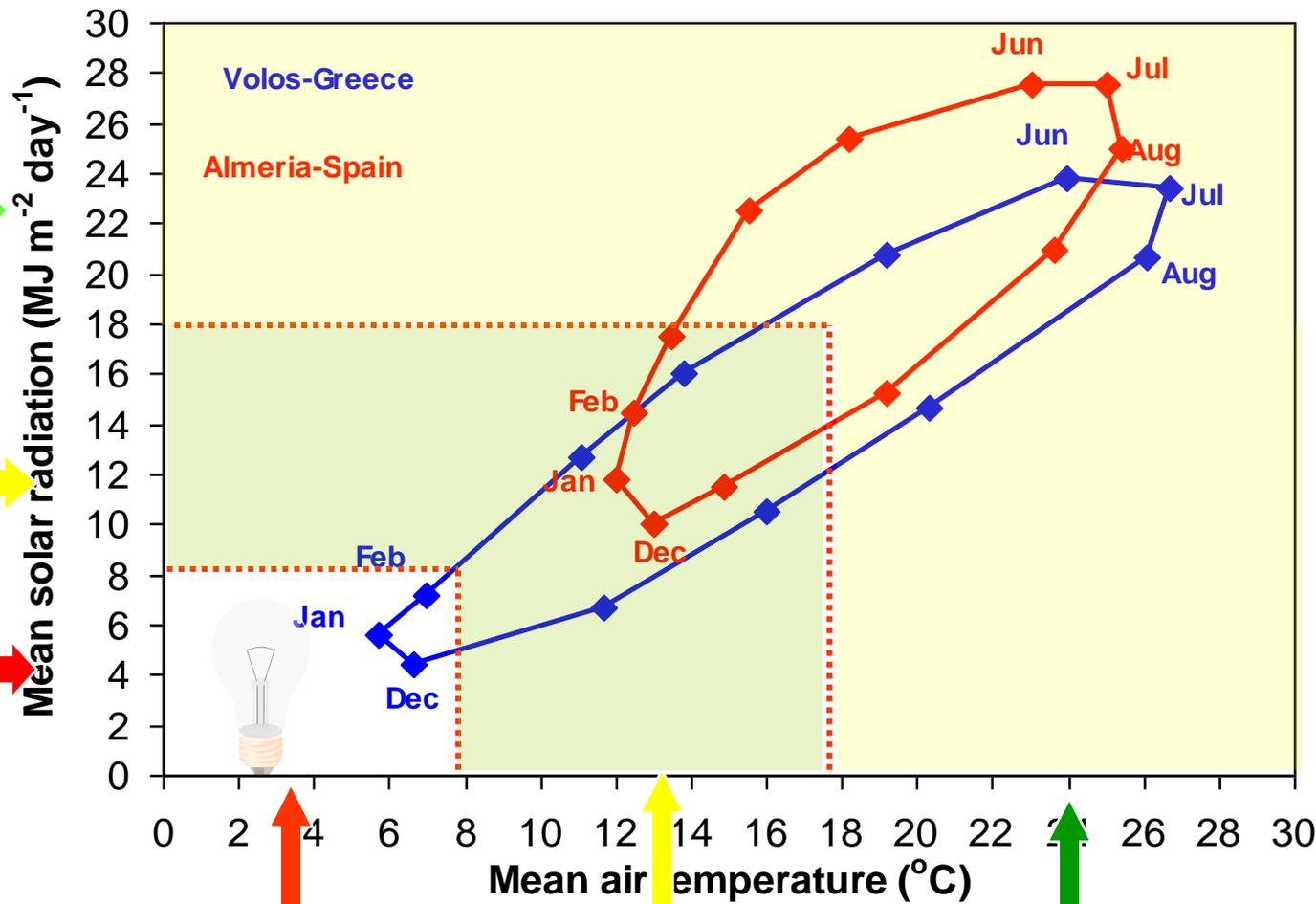


Necesidades climáticas según regiones

Vent. Contínua
Refrigeración

Ventilación
discontinúa

Invernadero
cerrado



Calefacción
día/noche

Calefacción noche

Sin calefacción