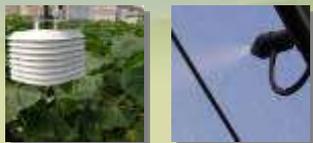


IFAPA



## 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:

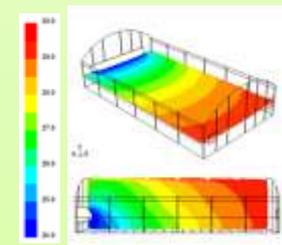
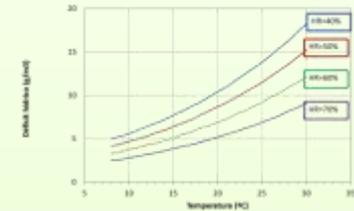
- ✓ Demanda evaporativa del aire
- ✓ Transpiración del cultivo

### 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

$\lambda$  Calor latente de vaporización de agua 2,5 MJ/kg

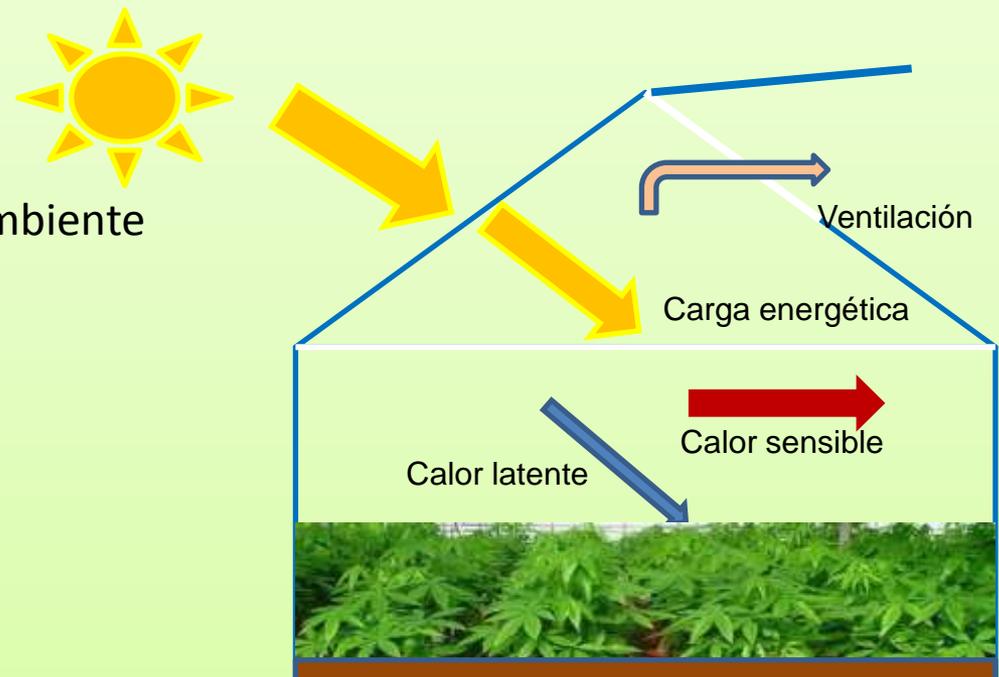
Energía absorbida por 1 kg de agua en el proceso de evaporación

## Nebulización

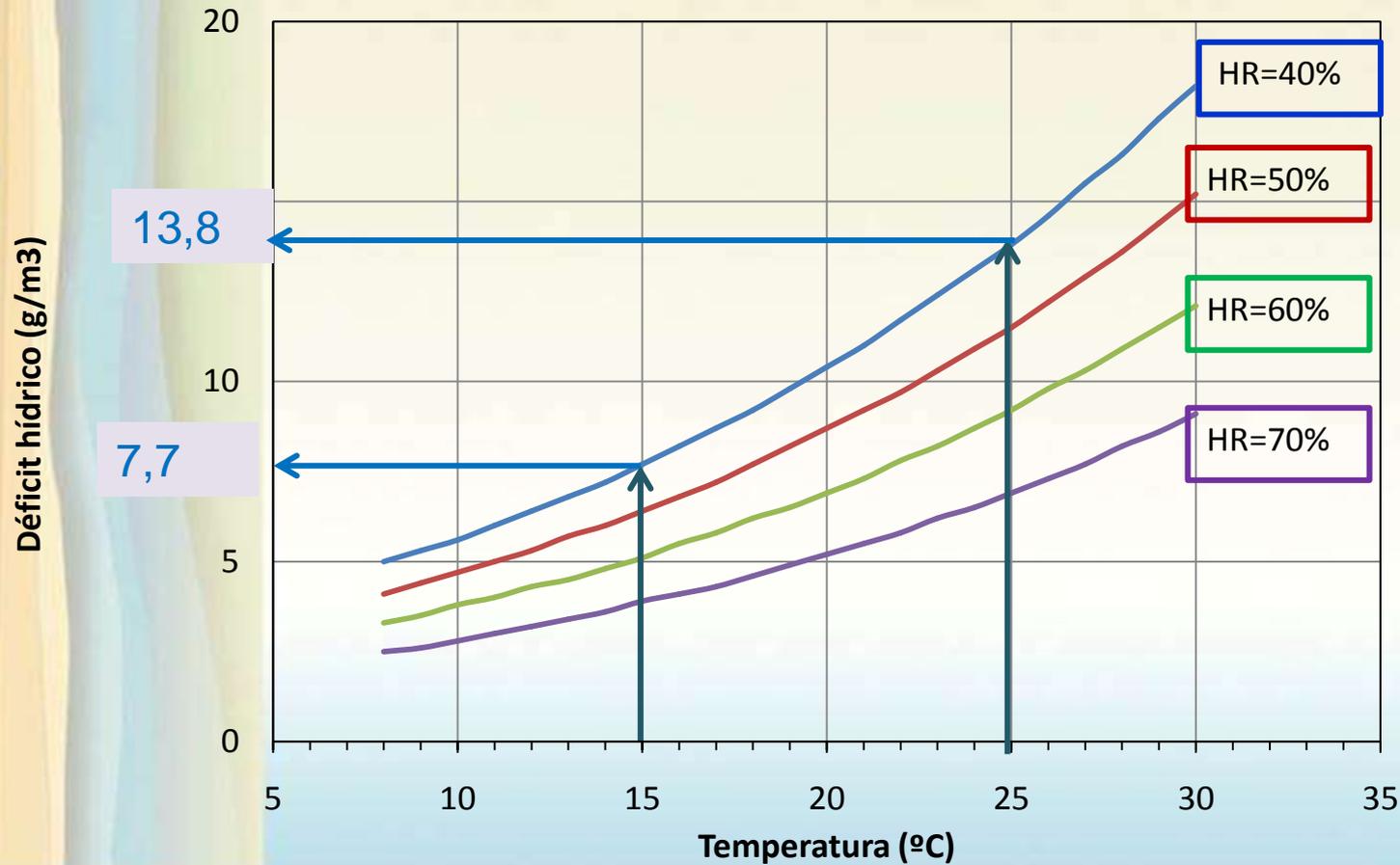
- Reduce la demanda evaporativa del ambiente
- Reduce la temperatura del aire

## Tipos

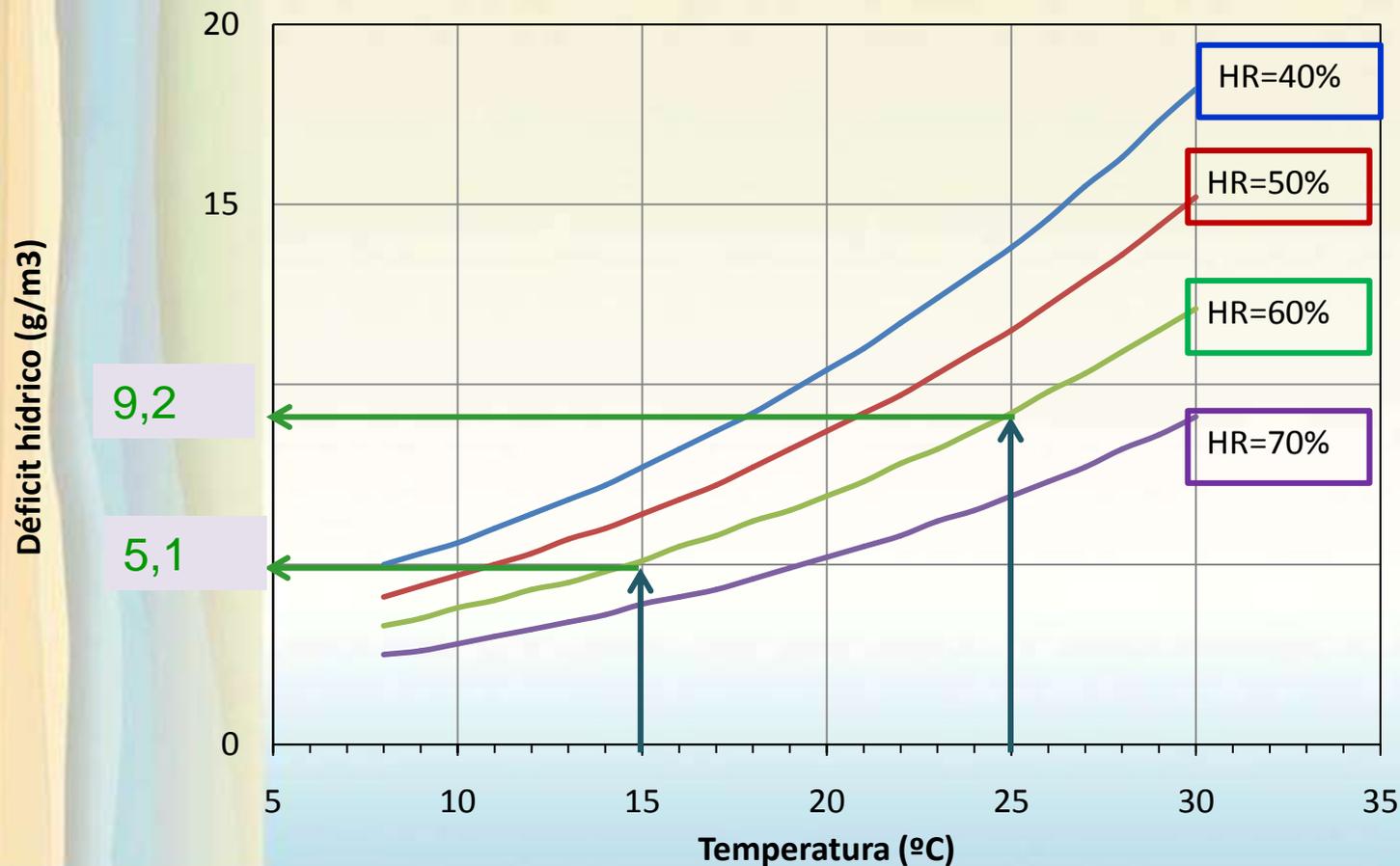
- Paneles evaporativos
- Boquillas de Nebulización



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



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

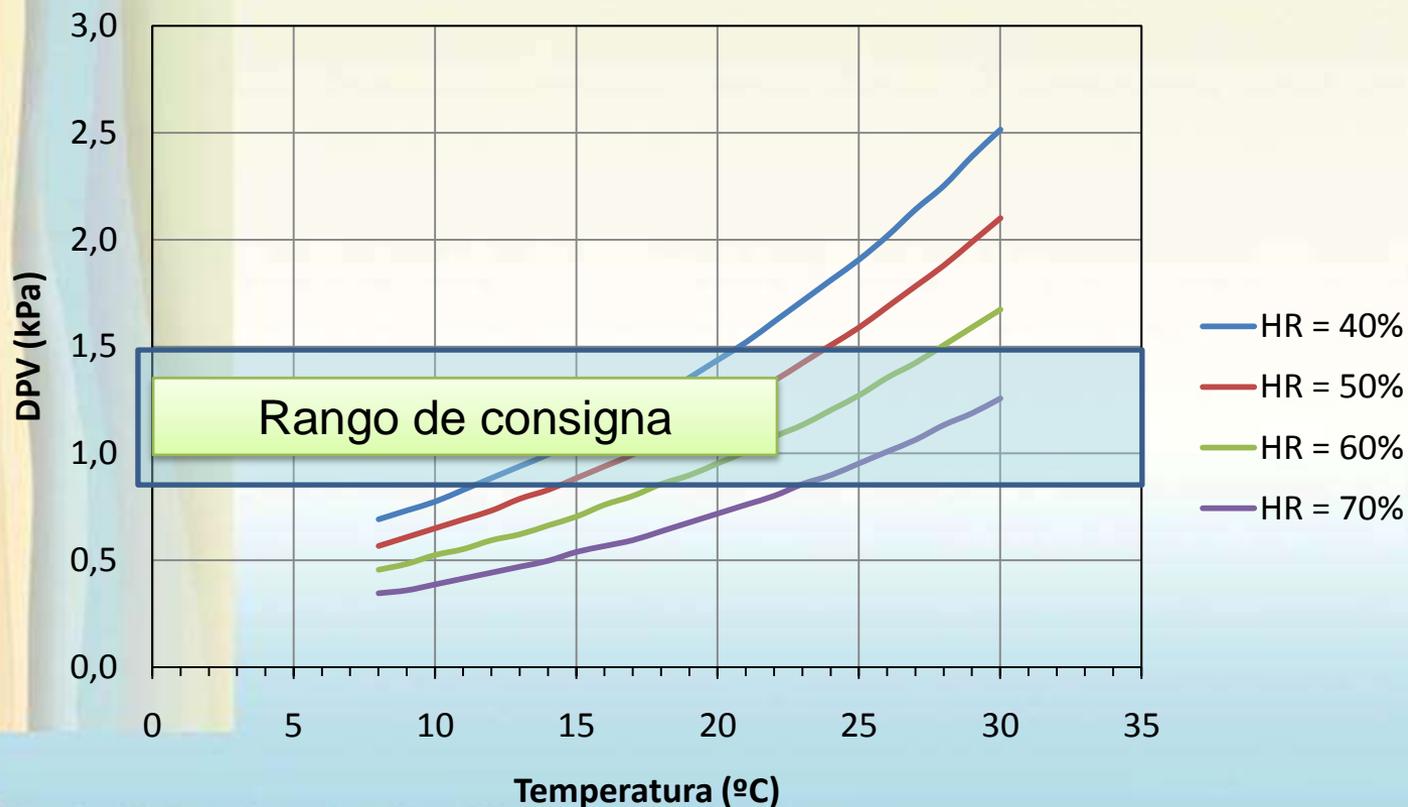


**Déficit de presión de vapor (kPa):** Diferencia entre la presión del vapor de agua que habría cuando el aire estuviera saturado de agua ( $e_s$ ) y la existente en el aire ( $e$ ) en unas determinadas condiciones.

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

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

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



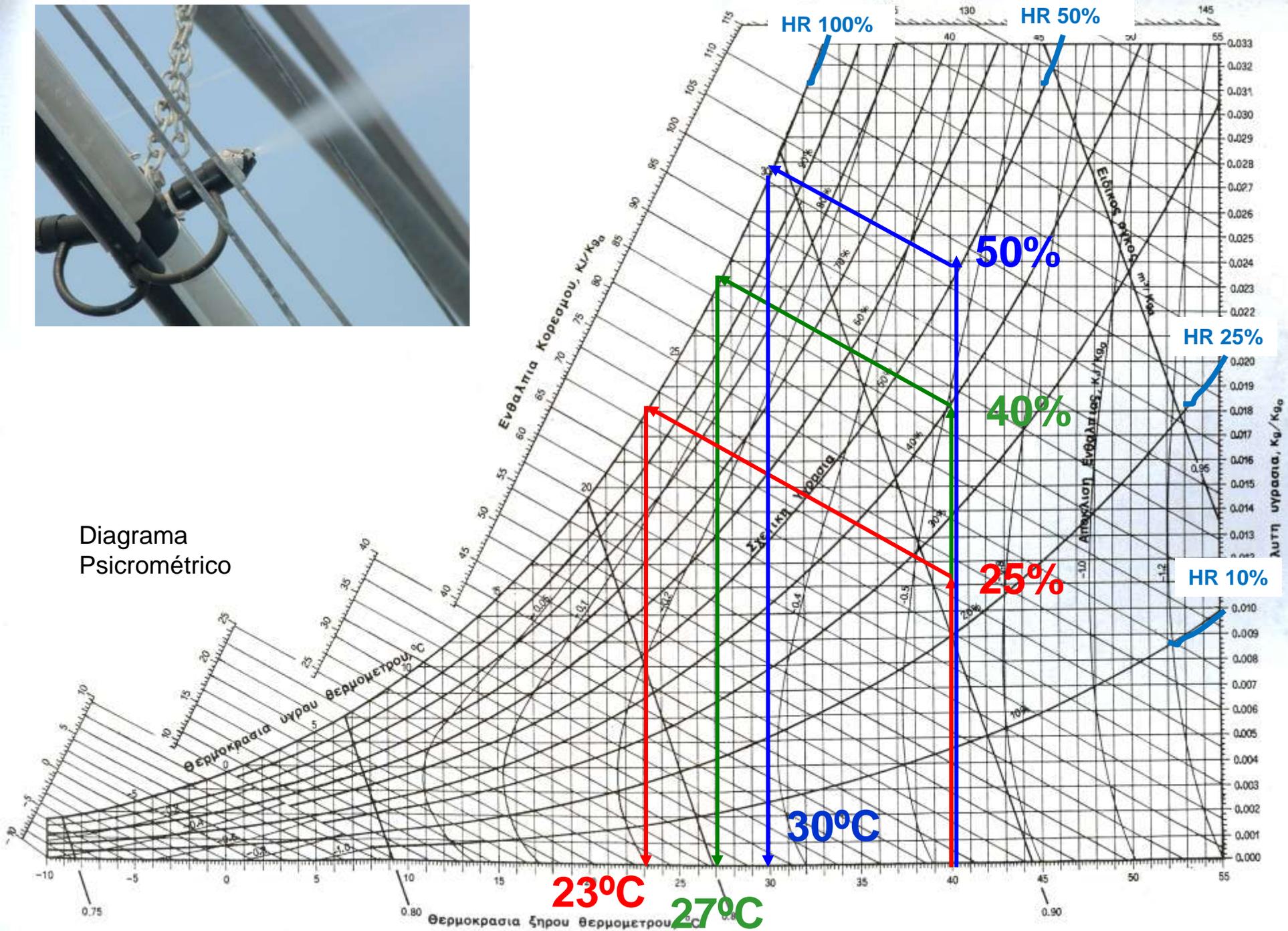
La eficiencia de la nebulización aumenta cuanto menor es la humedad relativa en el interior del invernadero (fase inicial del cultivo) o bien cuanto más árido es el clima exterior.



Cultivo de pimiento  
invernadero parral mejorado  
con blanqueo



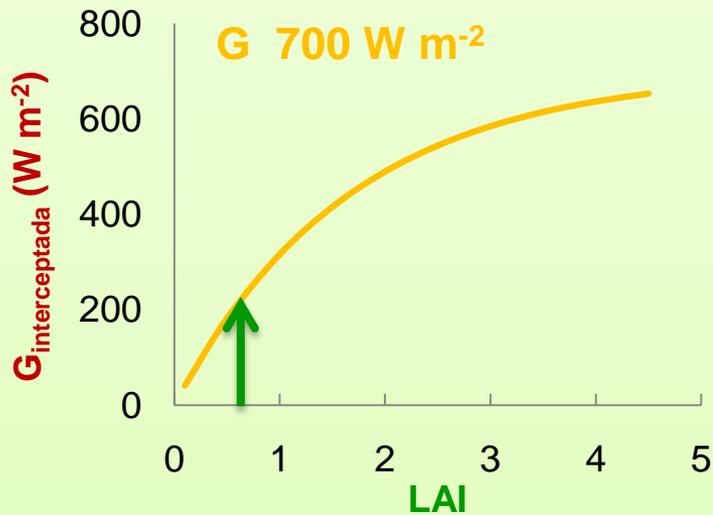
Diagrama Psicrométrico



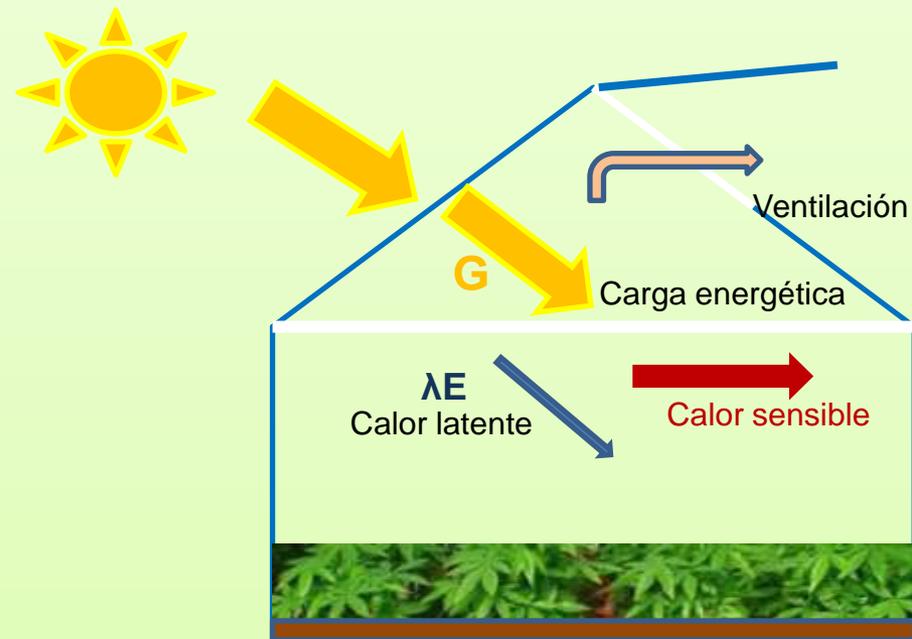
# Tasa de transpiración del cultivo $\rightleftharpoons$ Clima del Invernadero

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

( a y b coef. según cultivo)



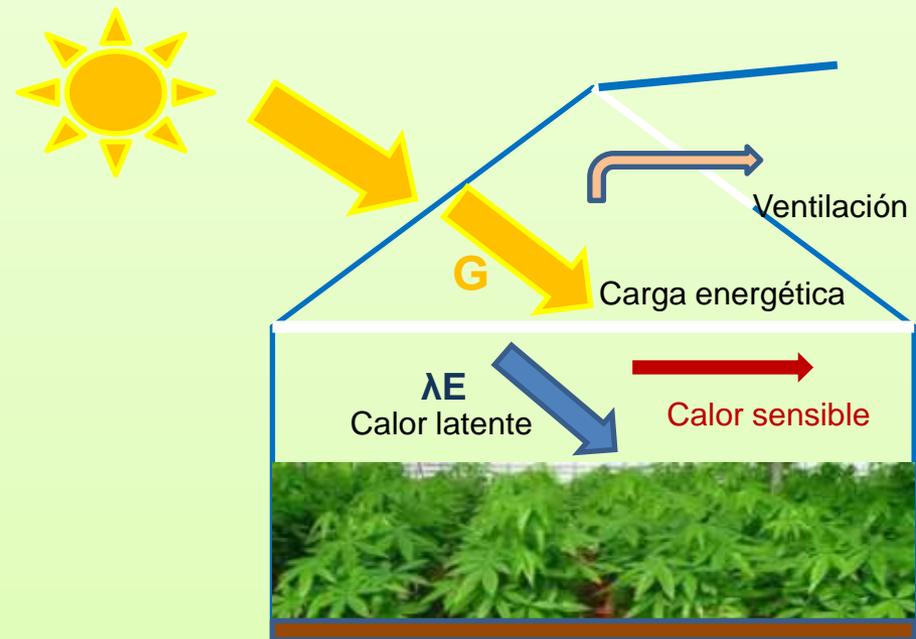
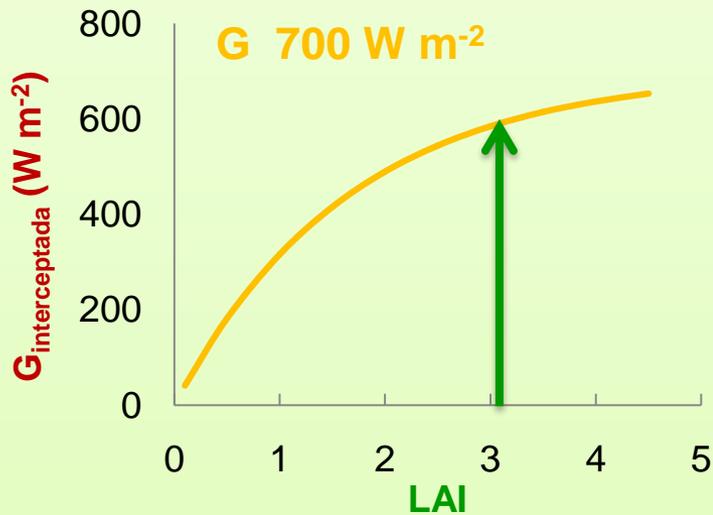
$LAI = m^2 \text{ hoja} / m^2 \text{ suelo}$



# Tasa de transpiración del cultivo $\rightleftharpoons$ Clima del Invernadero

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

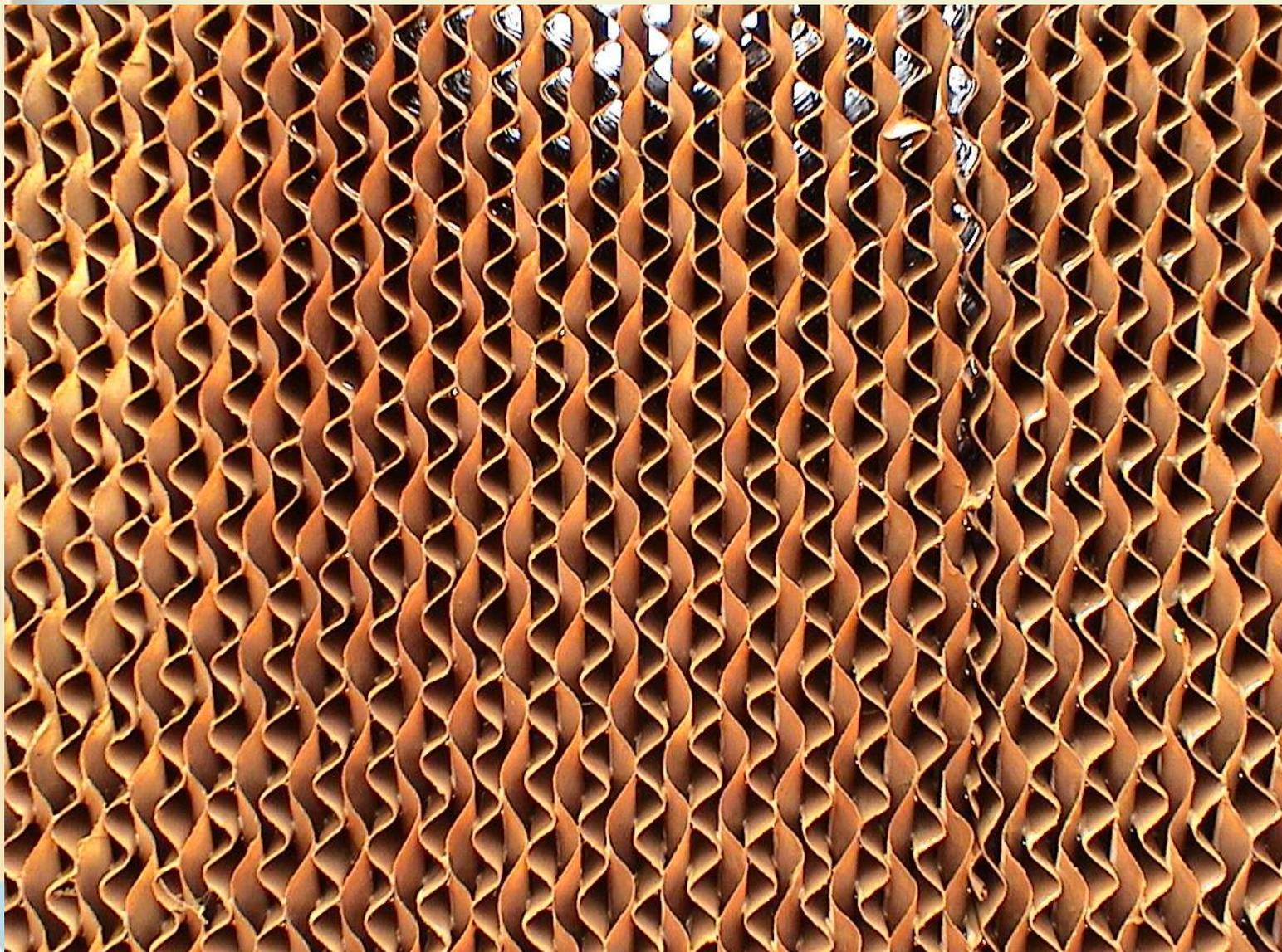
( a y b coef. según cultivo)



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

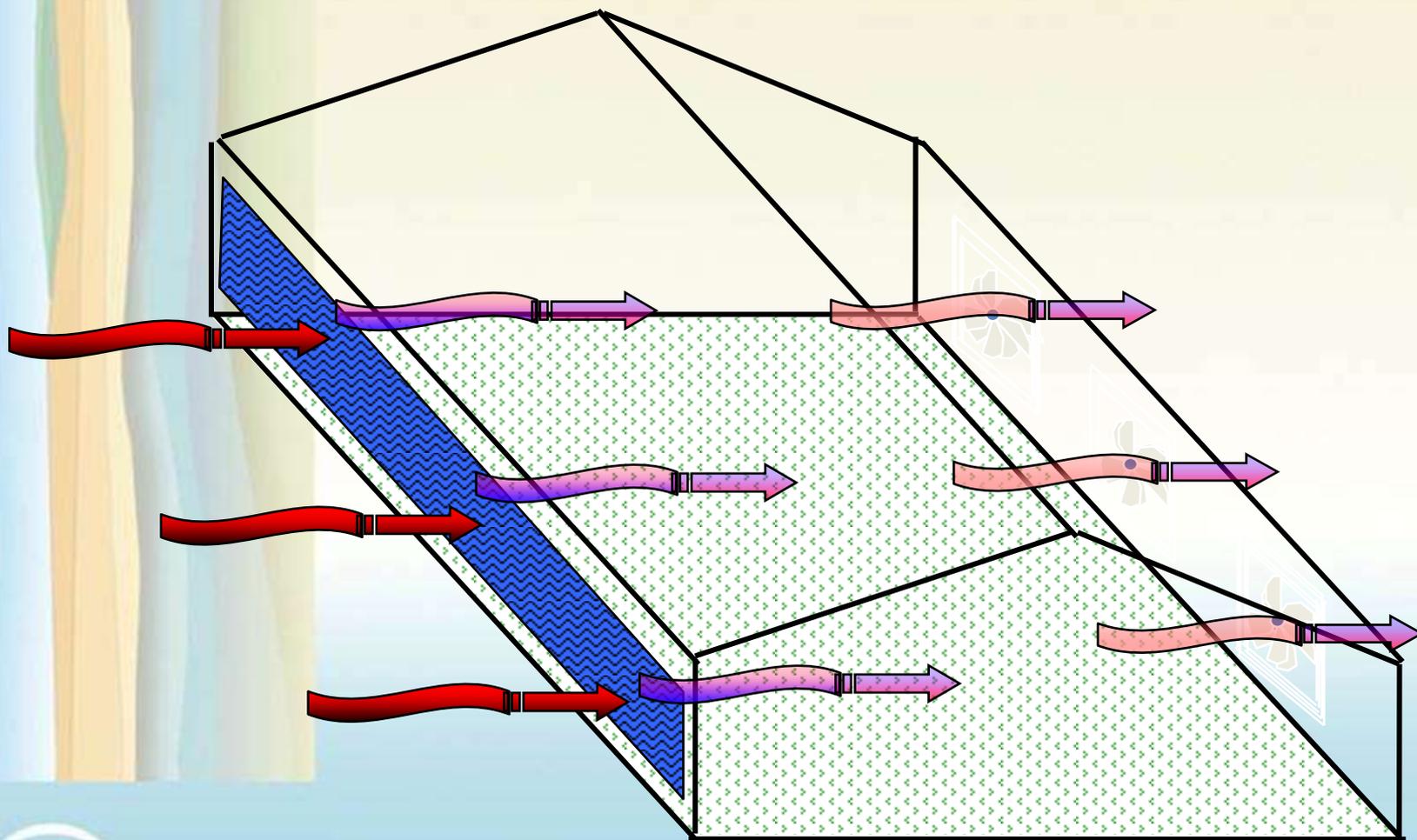
# Paneles evaporativos

Nebulización



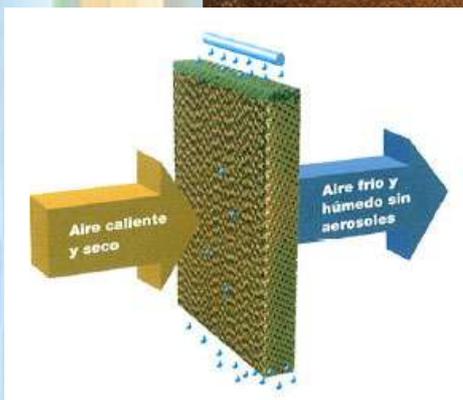
Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera  
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, PESCA Y DESARROLLO RURAL

# 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

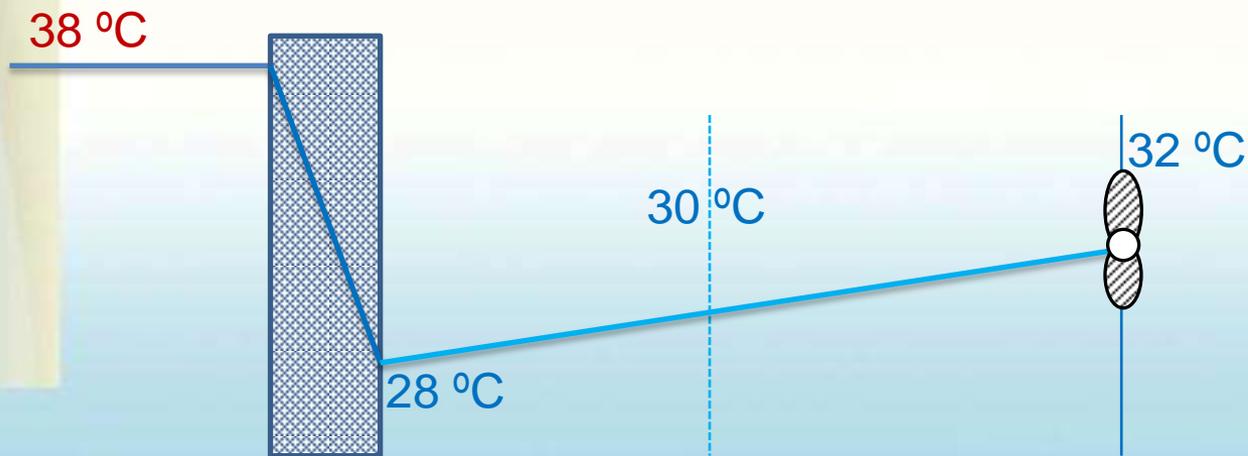
Paneles evaporativos

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

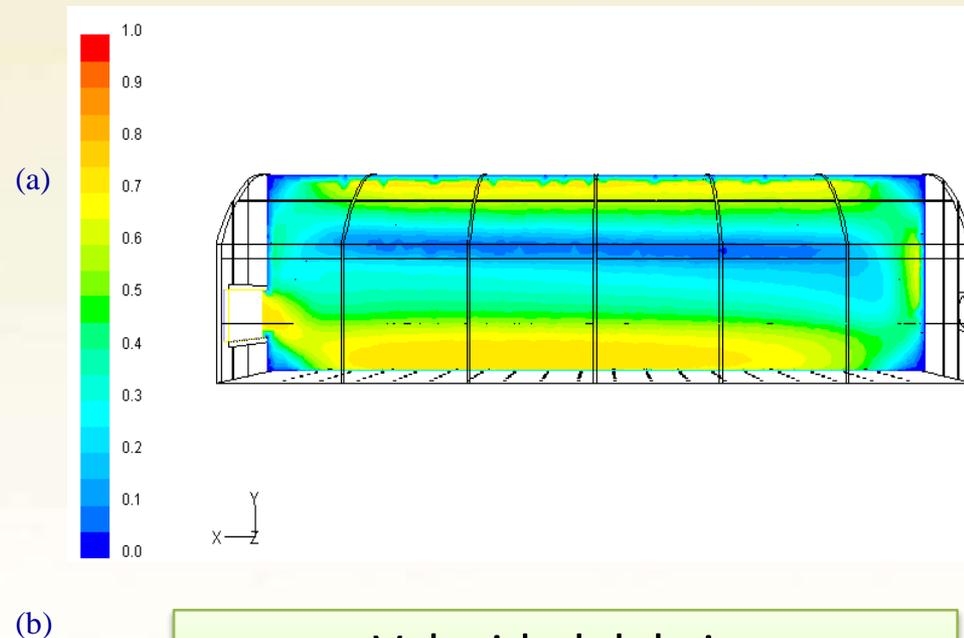
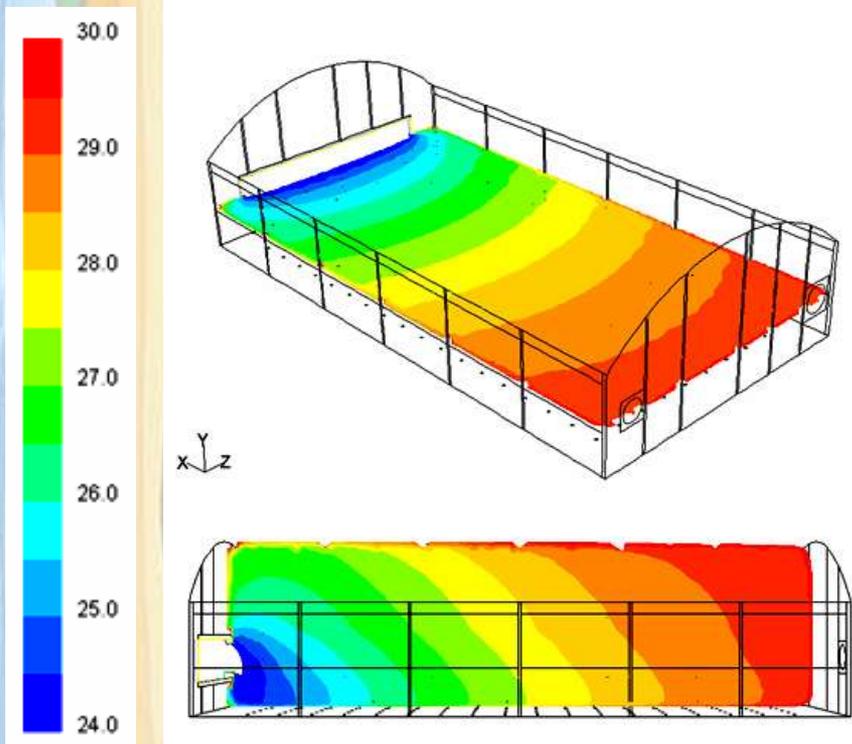


Diagrama de temperaturas del aire

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

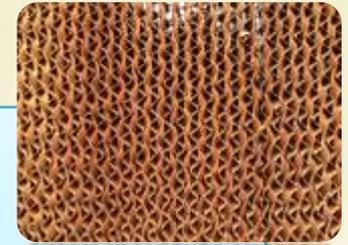
b) Plano vertical en el centro del invernadero  
z=4,0 m, (24 – 30 °C)

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 m<sup>2</sup> por cada 20-30 m<sup>2</sup> 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

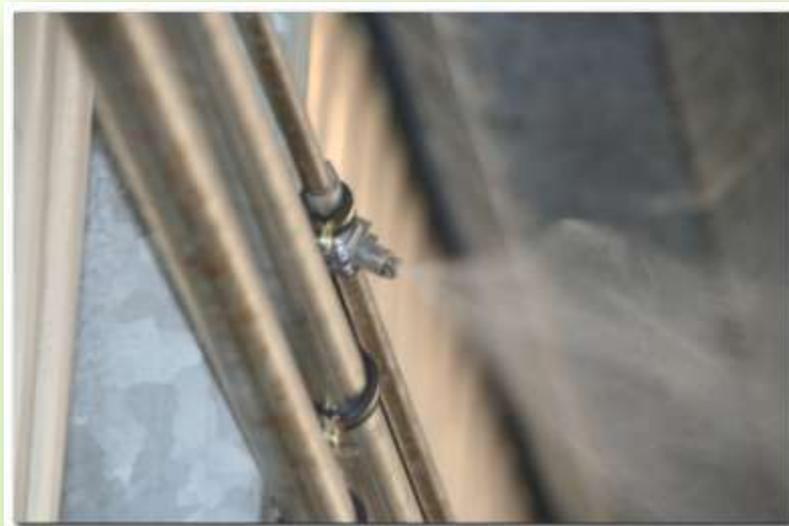
# Boquillas de Nebulización

- 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

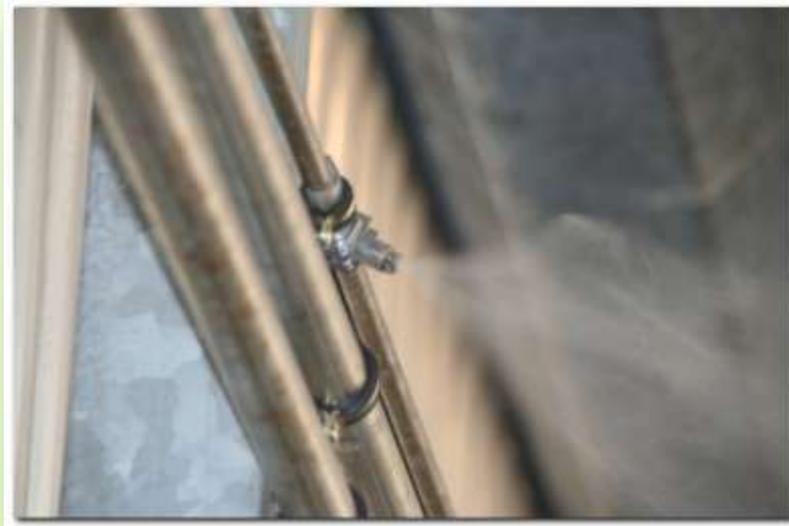


Aire - Agua



# Boquillas de Nebulización

## Alta Presión



Presión de trabajo 40 kg/cm<sup>2</sup>  
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/cm<sup>2</sup> ; agua 2-3 kg/cm<sup>2</sup>

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



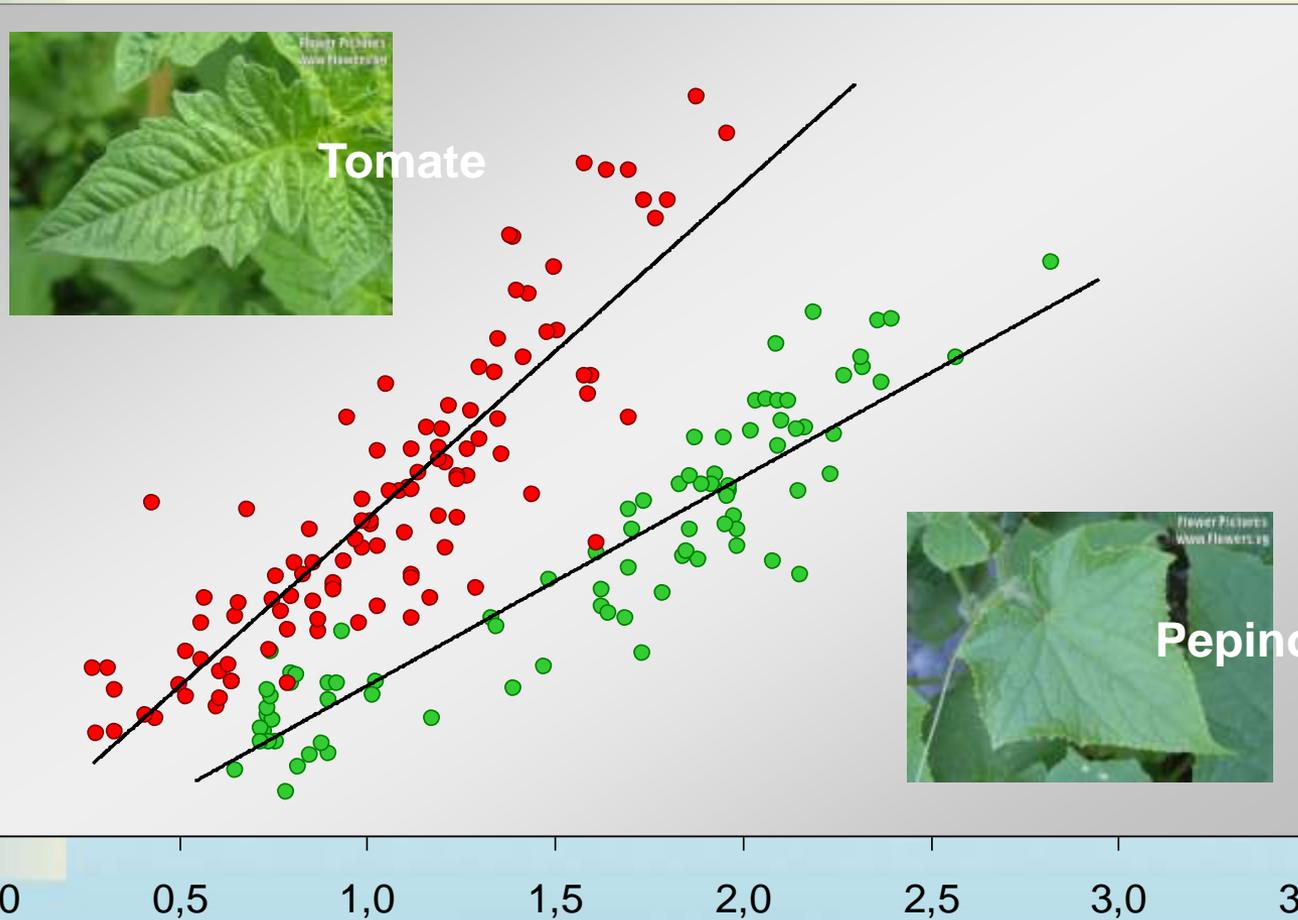
- Presión de trabajo: 3 – 6 kg/cm<sup>2</sup>
- Diámetro de la gota 50 – 100 micras
- No requiere agua de buena calidad
- Tuberías de polietilieno
- Puede mojar el cultivo
- Menor coste de instalación y mantenimiento
- Mayor consumo de agua

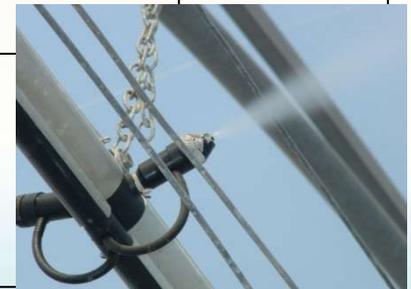
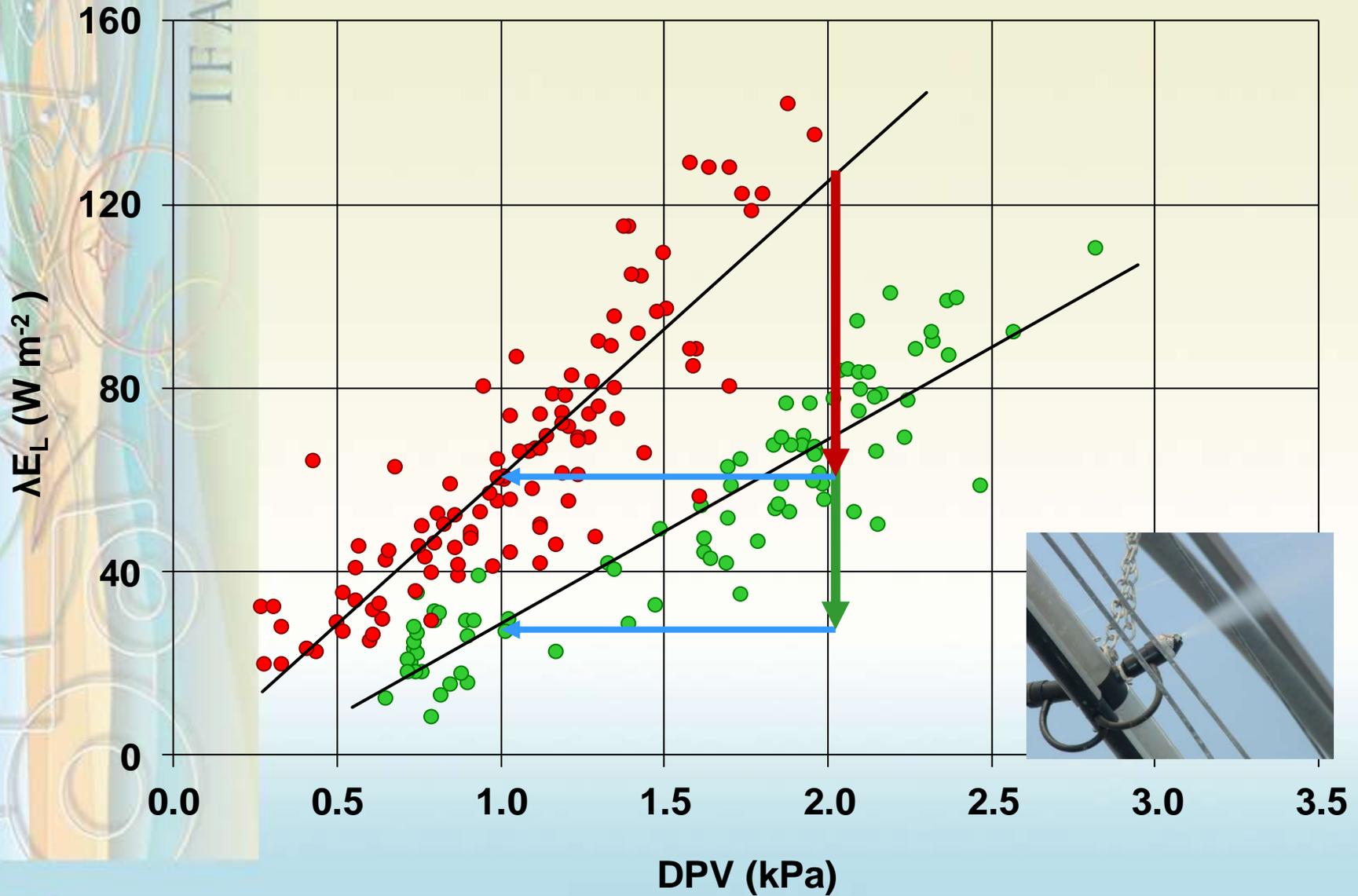
# Efecto de la Nebulización sobre el aire del invernadero y el cultivo



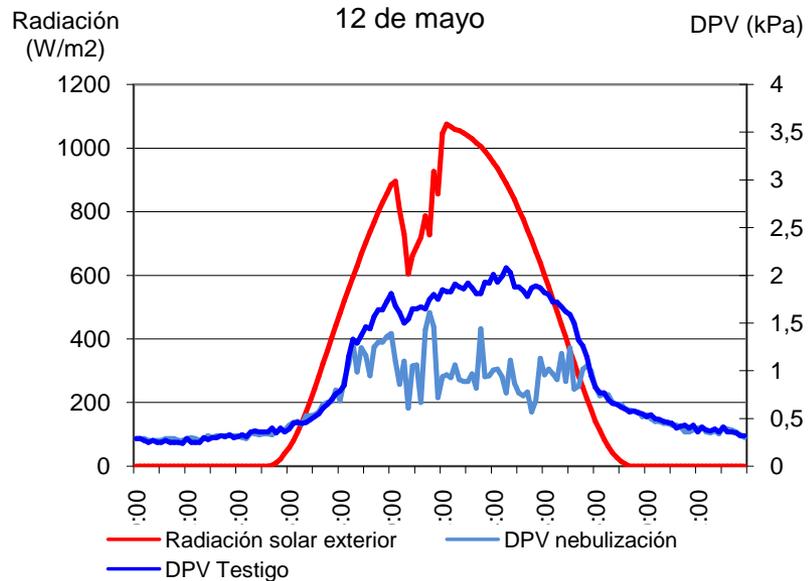
## Diferente respuesta de los cultivos a la reducción del DPV

Transpiración por Superficie de Hoja



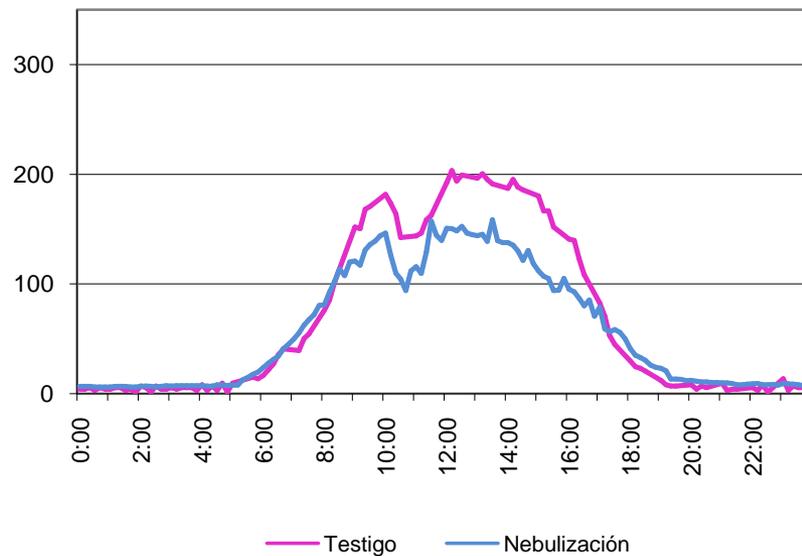


# Nebulización v.s. Consumo agua

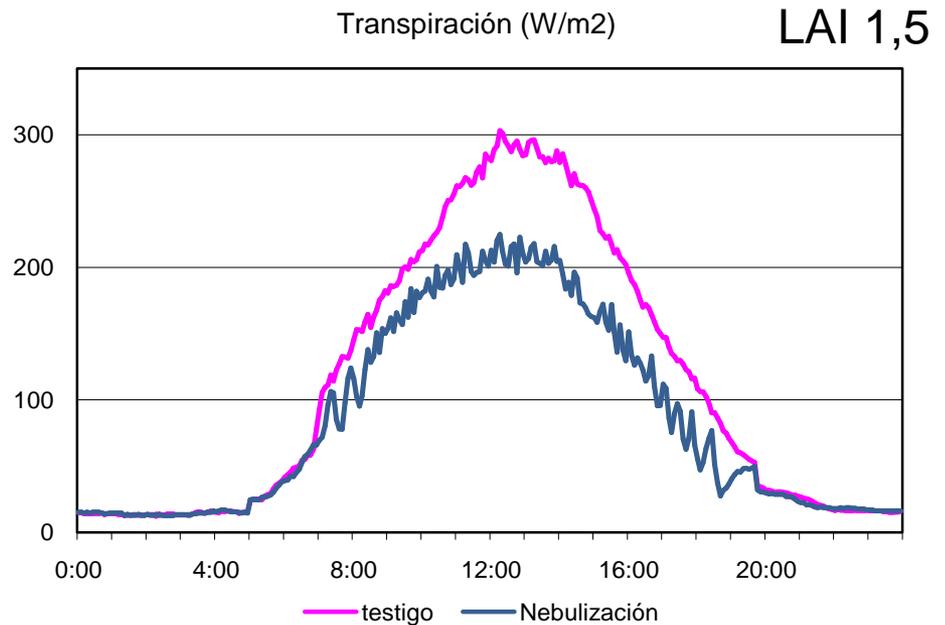
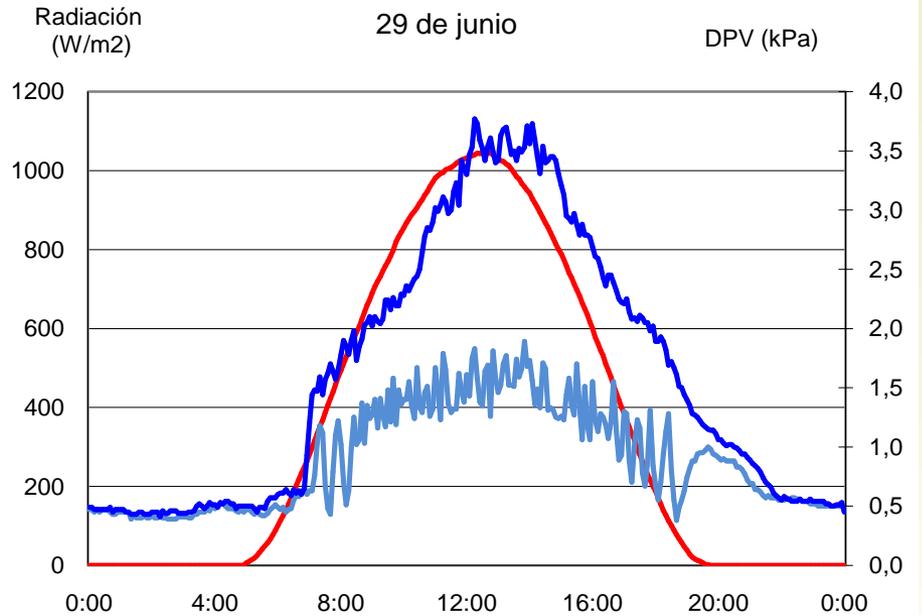


Transpiración (W/m<sup>2</sup>)

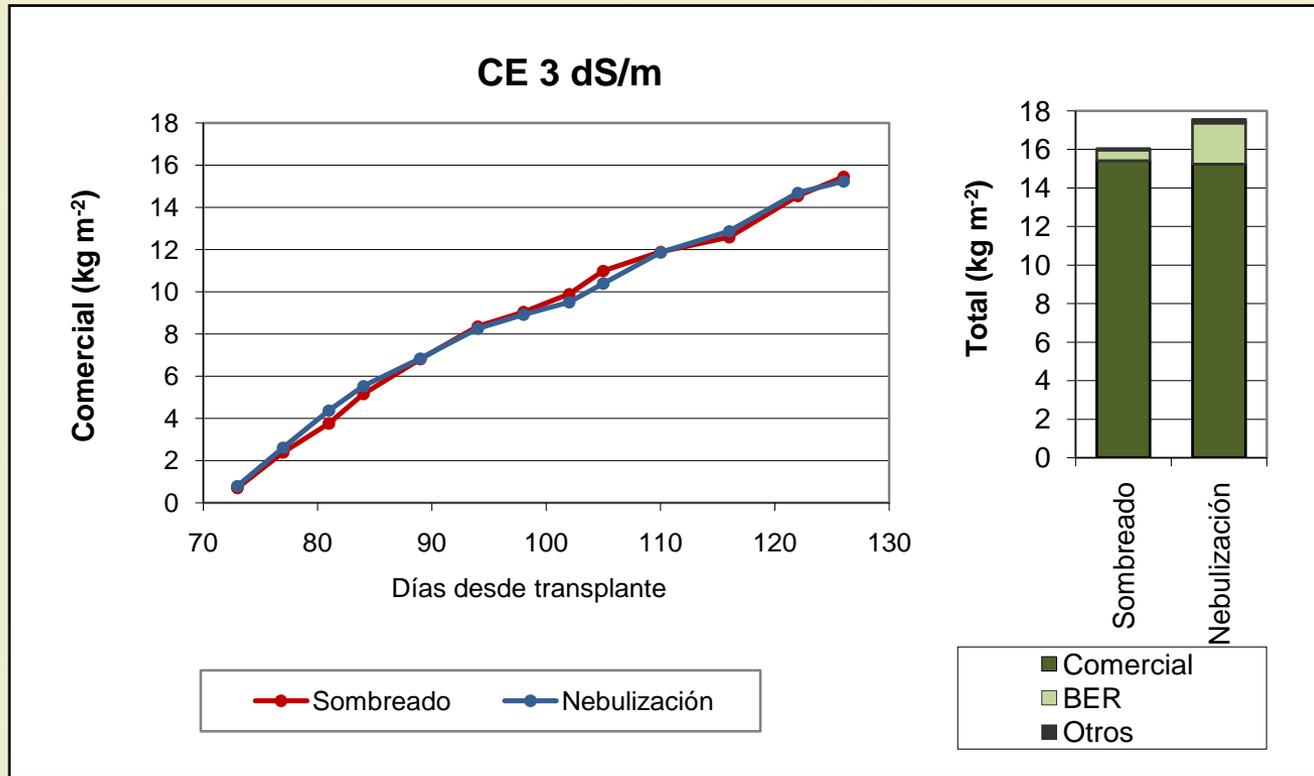
LAI 1



# Nebulización v.s. Consumo agua



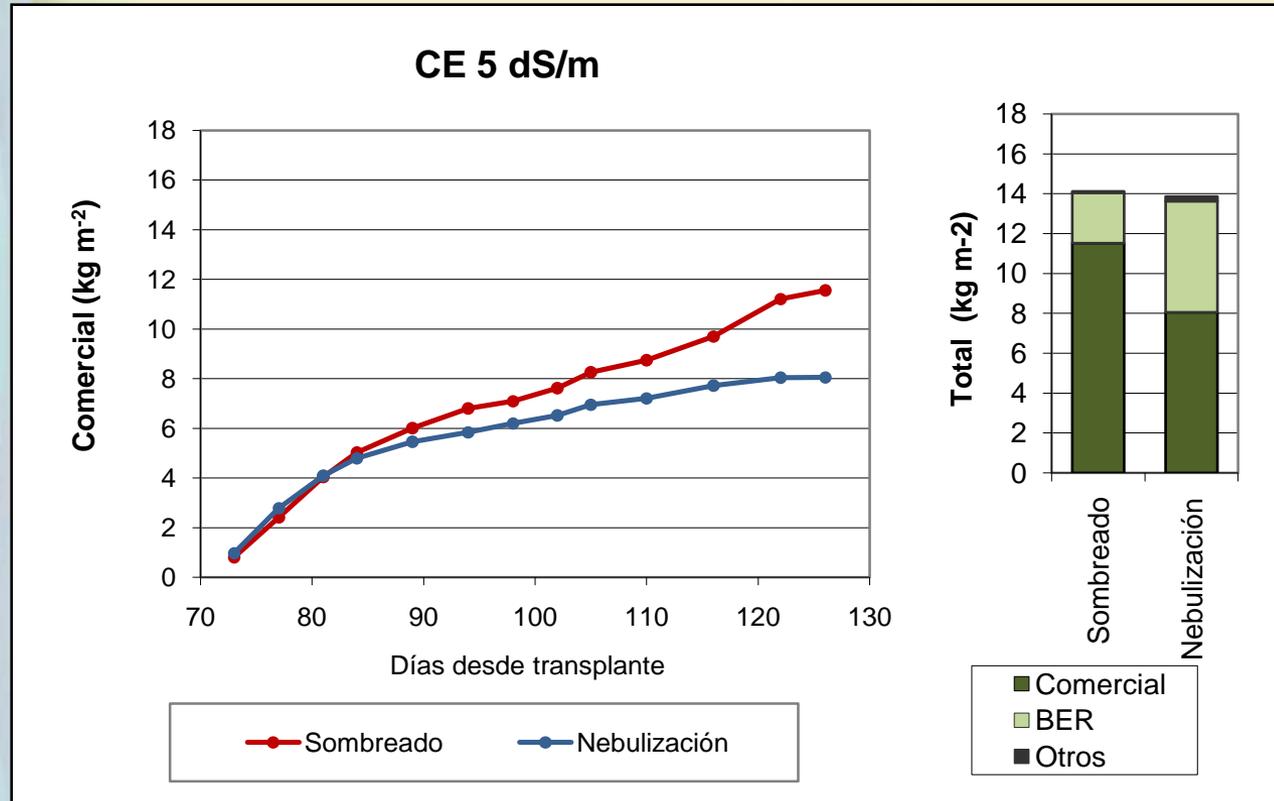
Lorenzo y col. 2004



Medrano y col. 2004

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



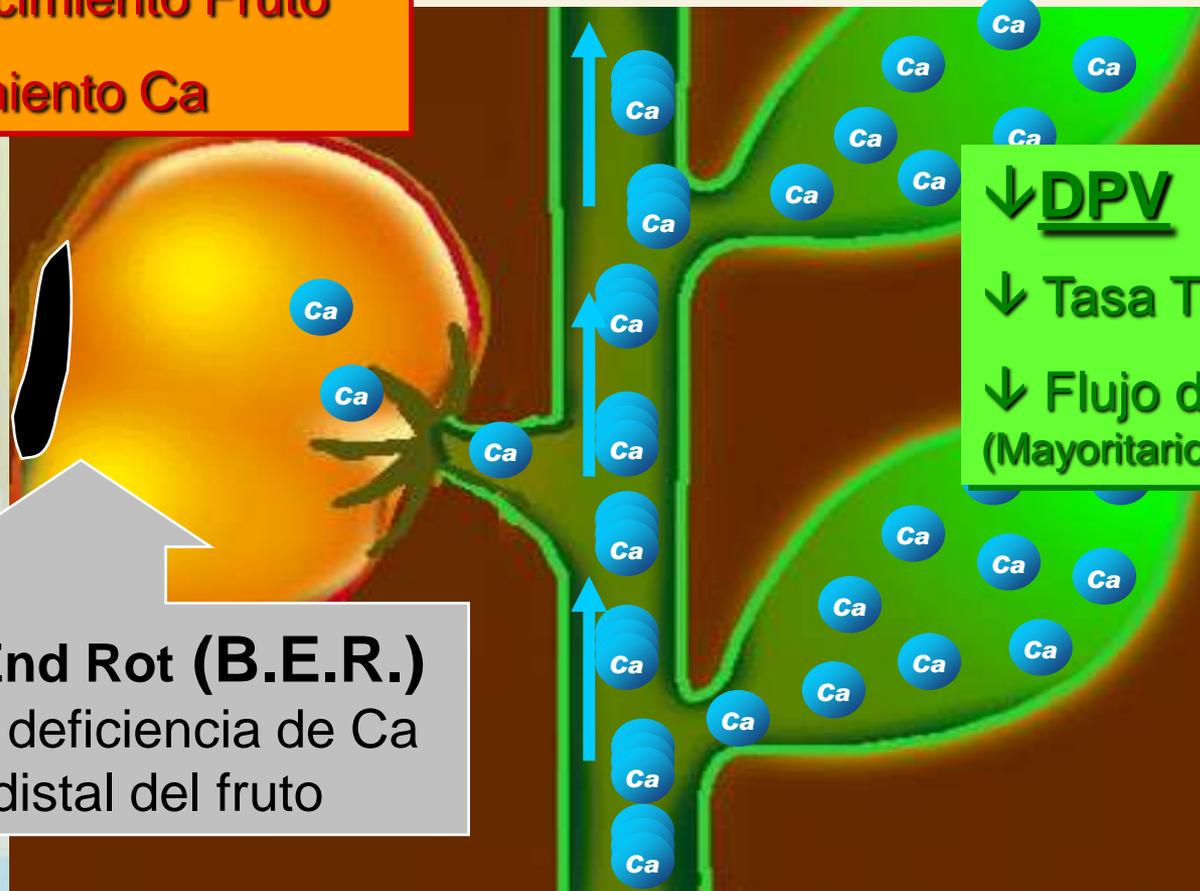


Lorenzo y col. 2004



↑ 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

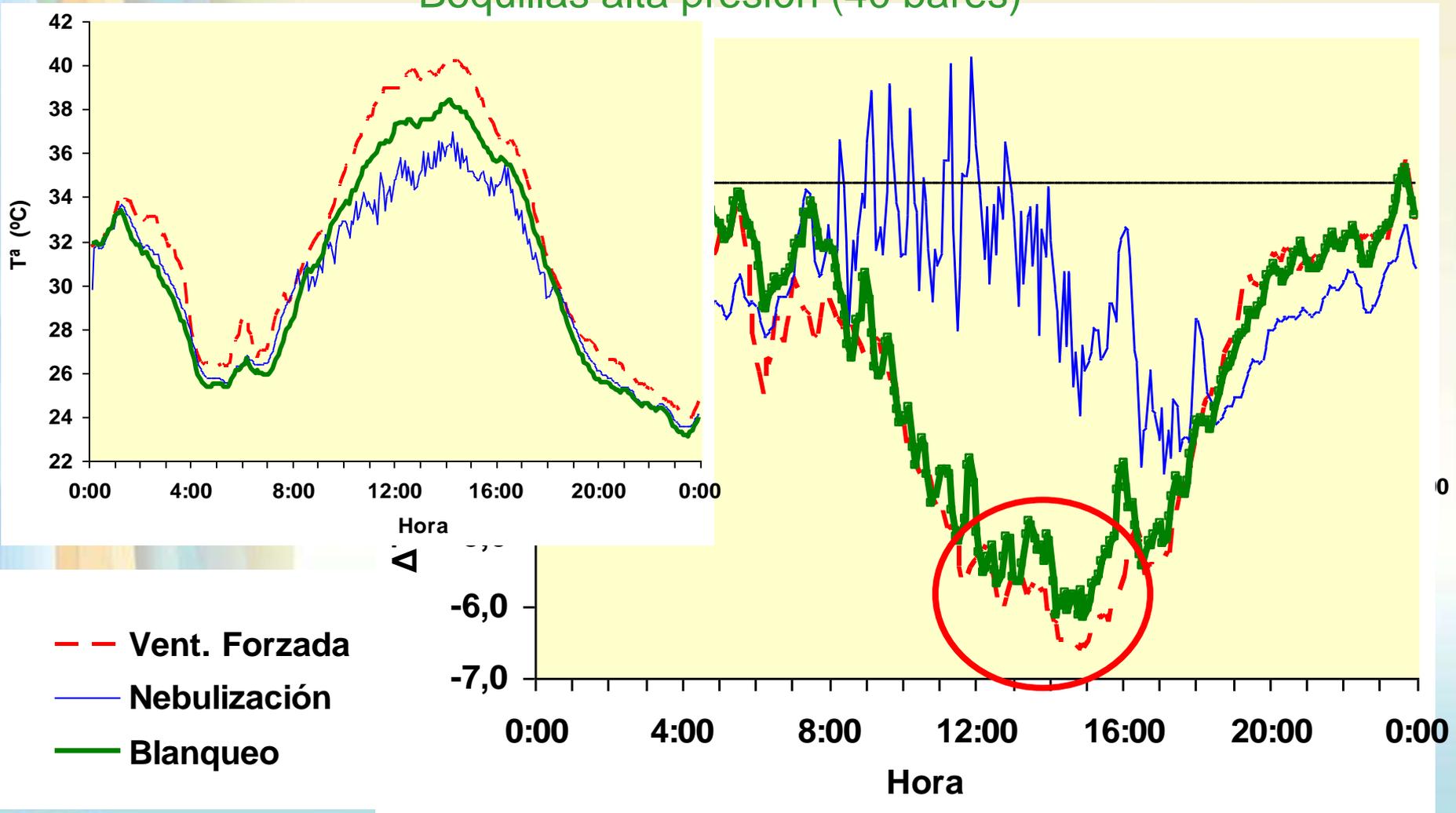
# Efecto sobre la temperatura del aire y de la hoja

## 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
<b>VENT.FORZADA</b>	9,5 A	1,4 B	0,9 AB
<b>FOG SYSTEM (DPV= 1,5 kPa)</b>	9,8 A	2,0 A	1,1 A
<b>BLANQUEO (1/4)</b>	10,5 A	1,2 A	0,7 B

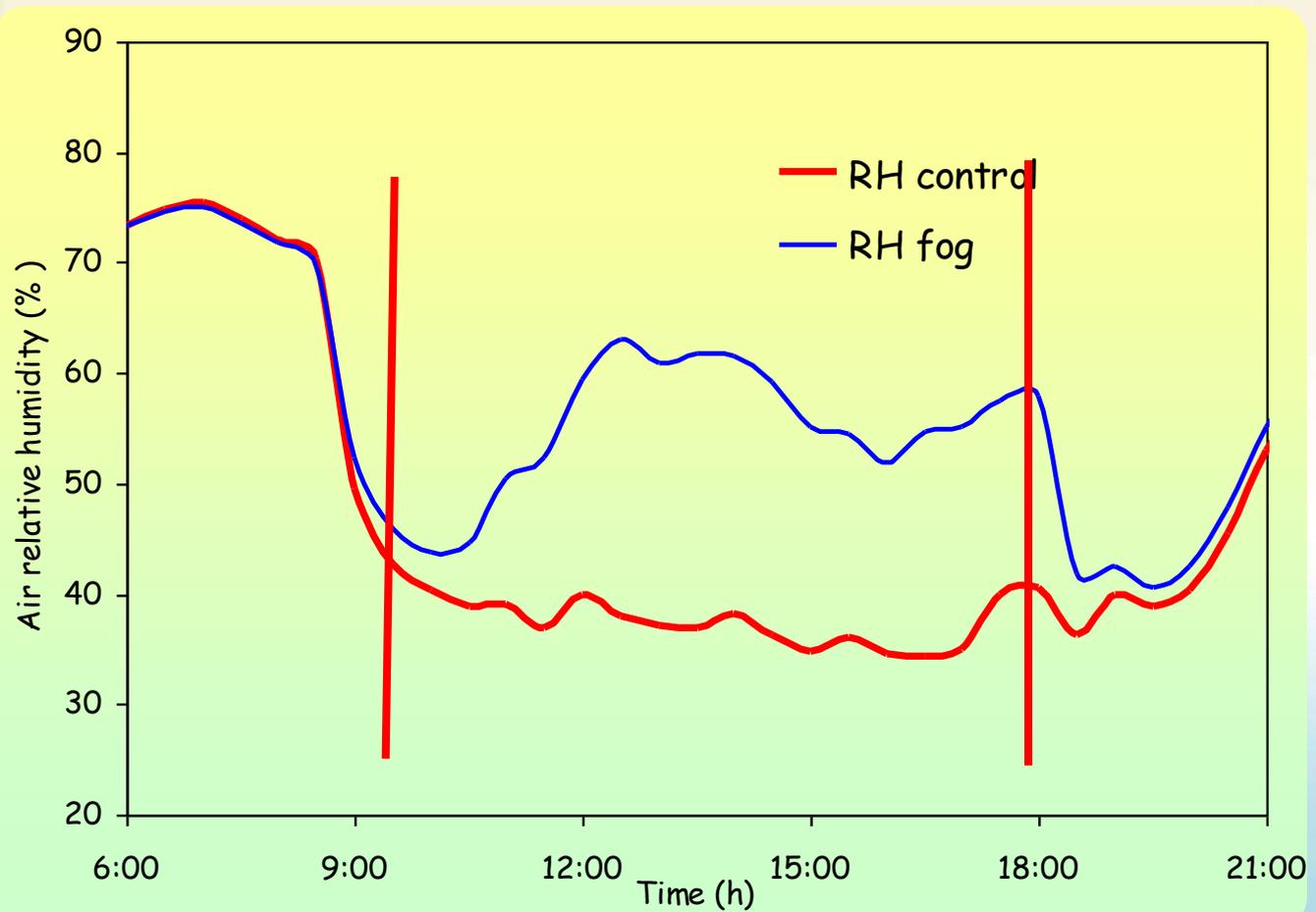
# Efecto sobre la humedad del del aire

## Cultivo de pimiento

### Invernaderos con malla móvil interior

#### Boquillas alta presión (40 bares)

Katsoulas et al., 2006

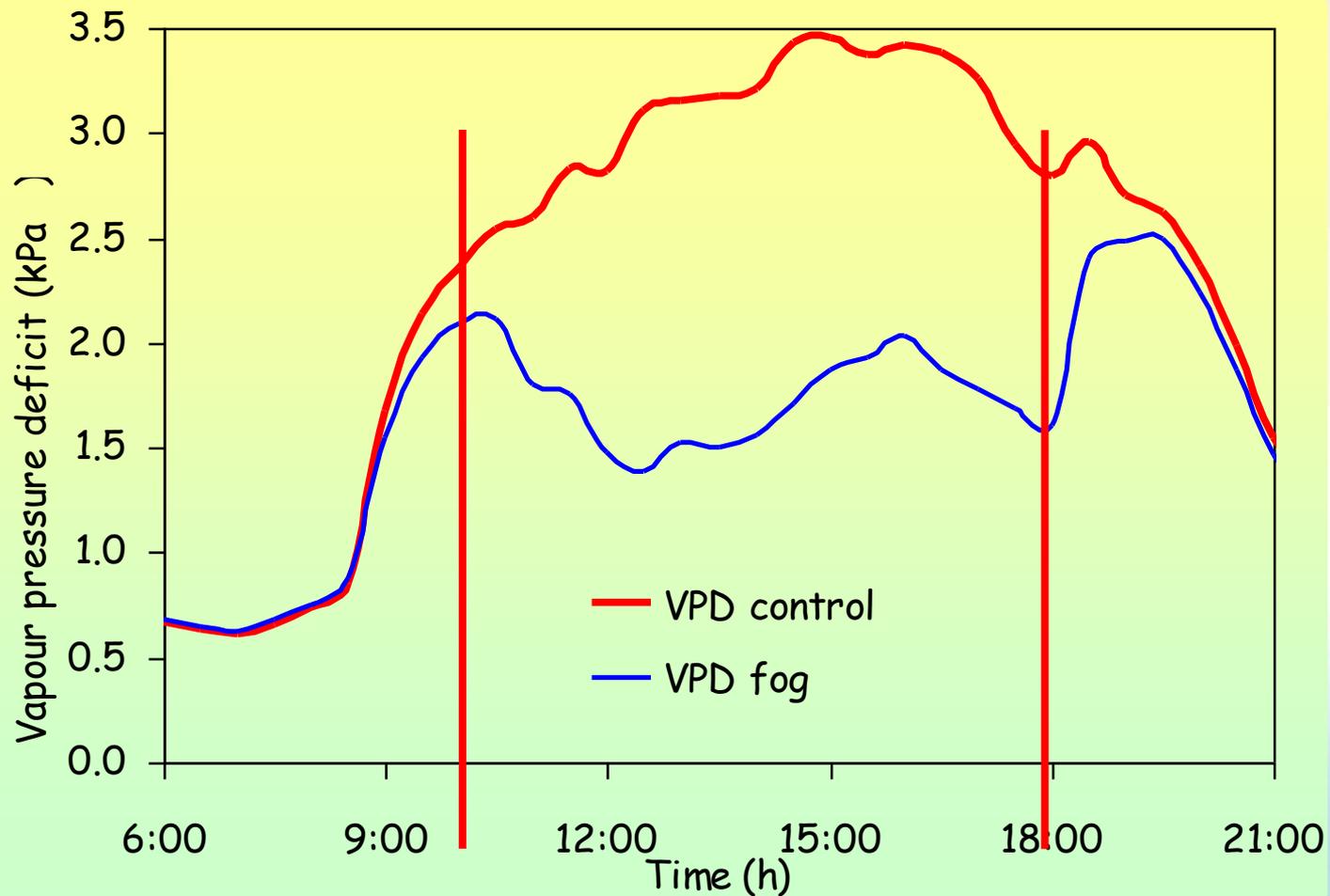


# Efecto sobre la presión del aire

## Cultivo de pimiento

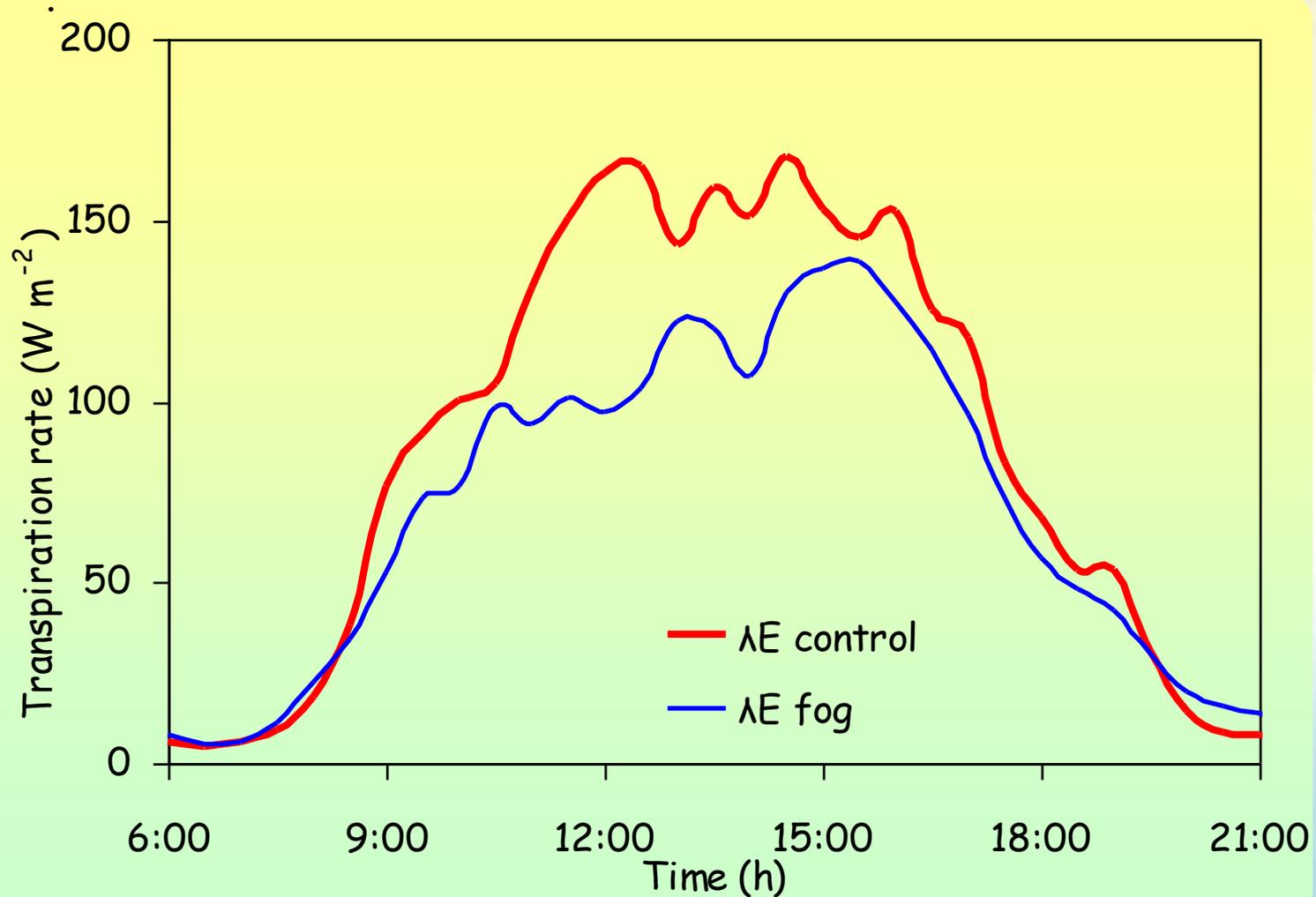
### Invernaderos con malla móvil interior

Katsoulas et al., 2006



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

Katsoulas et al., 2006



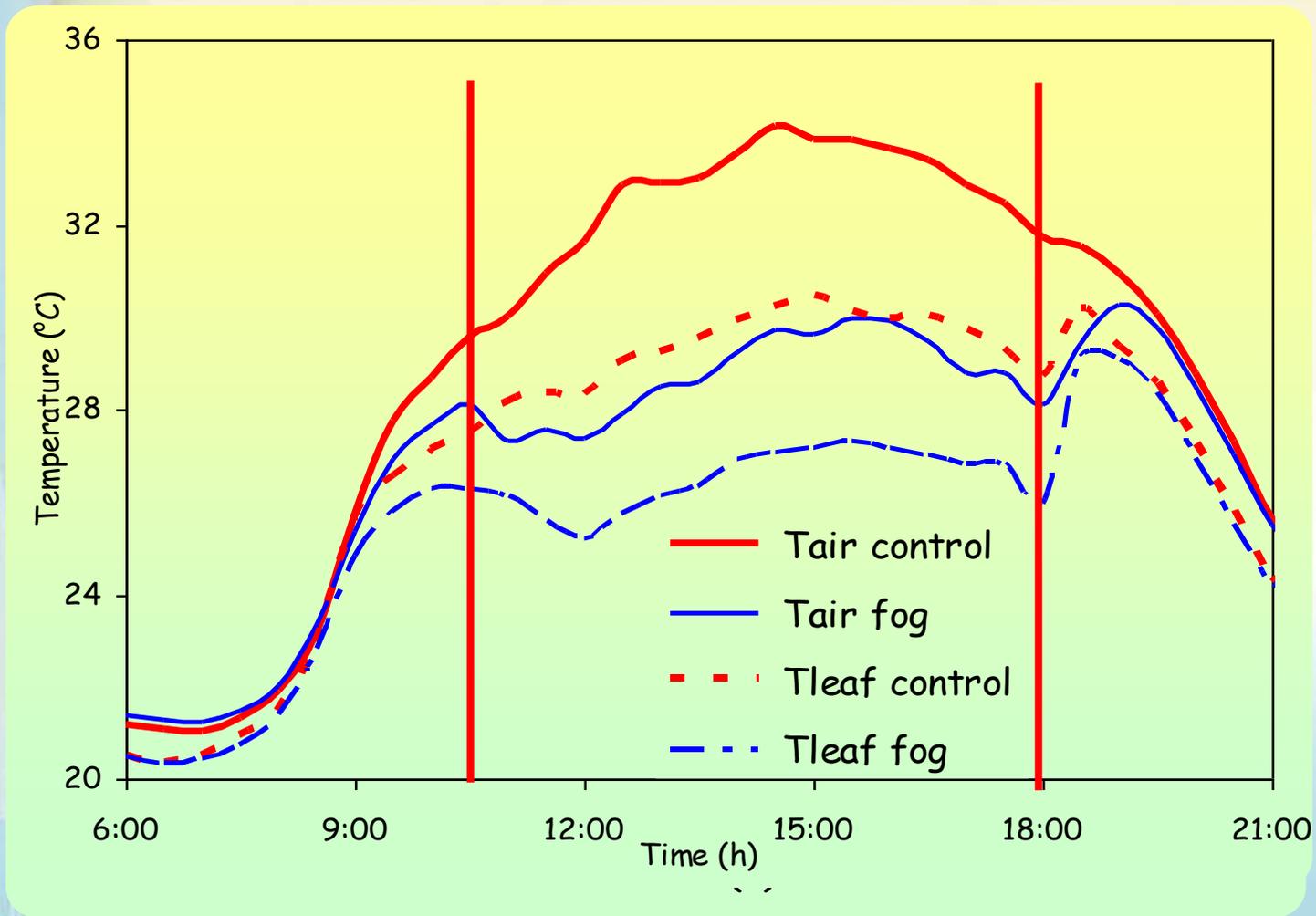
# Efecto sobre la temperatura del aire y de la hoja

## 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>







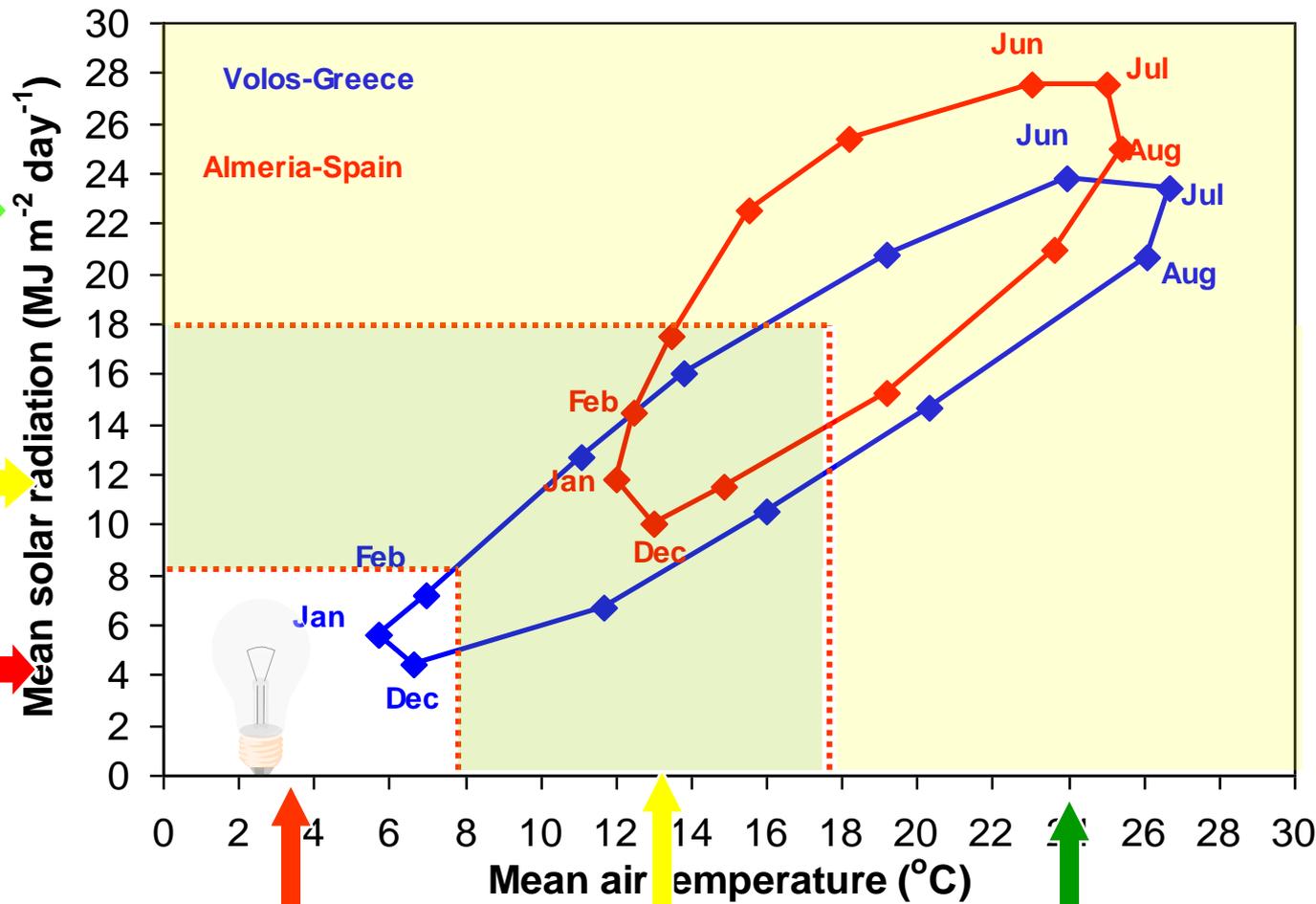


# Necesidades climáticas según regiones

Vent. Contínua  
Refrigeración

Ventilación  
discontinúa

Invernadero  
cerrado



Calefacción  
día/noche

Calefacción noche

Sin calefacción