



**La ventilación natural del invernadero.  
Optimización de la instalación.  
Estrategias de manejo para mejorar el  
clima.**

**Juan Carlos López Hernández  
FUNDACION CAJAMAR**

## Técnicas de refrigeración



**Ventilación**

- Forzada
- Natural

**Enfriamiento por evaporación**

- Nebulización
- Paneles evaporantes

**Otras soluciones**

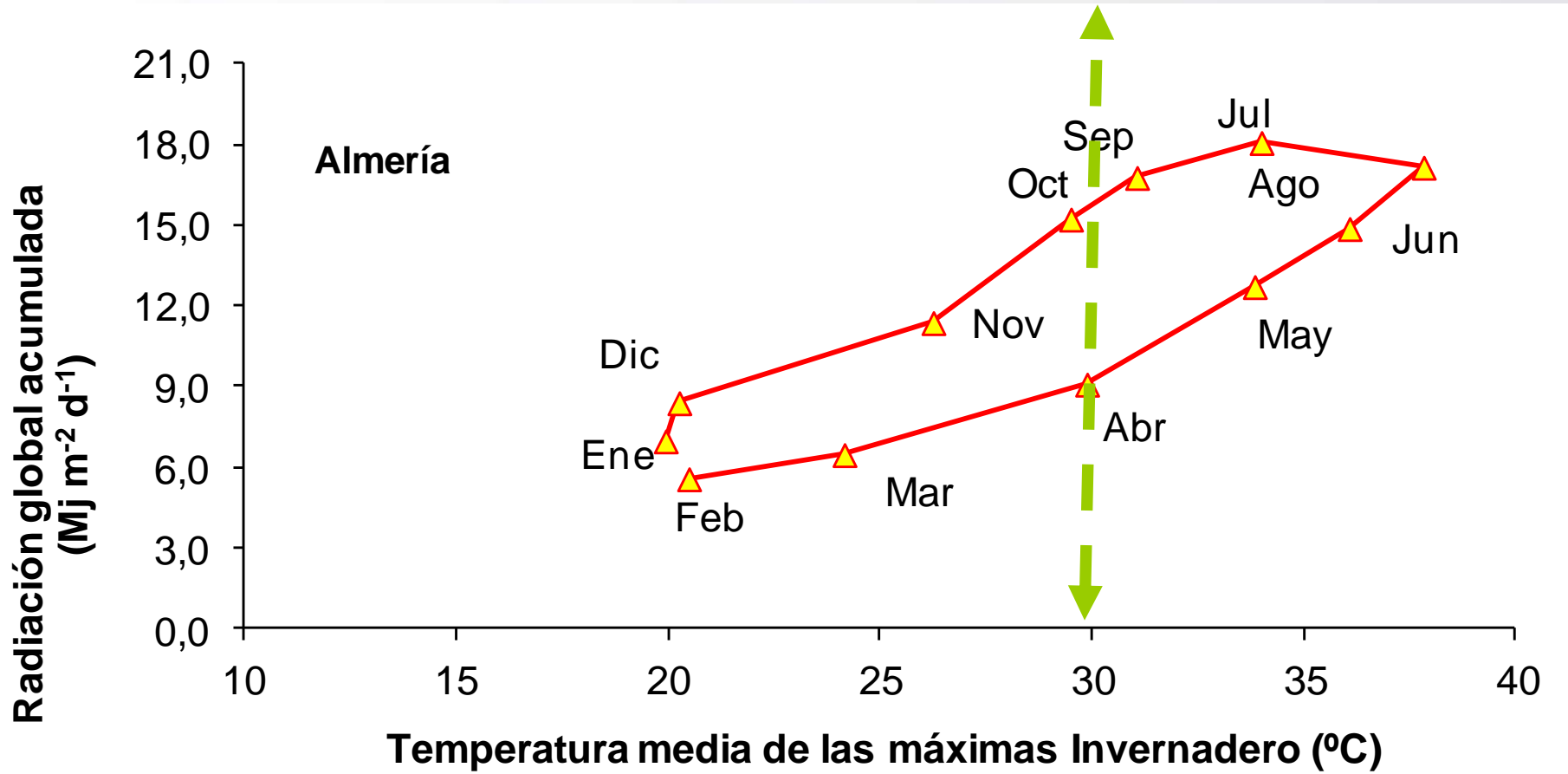
- Pantallas de sombreo
- Blanqueo

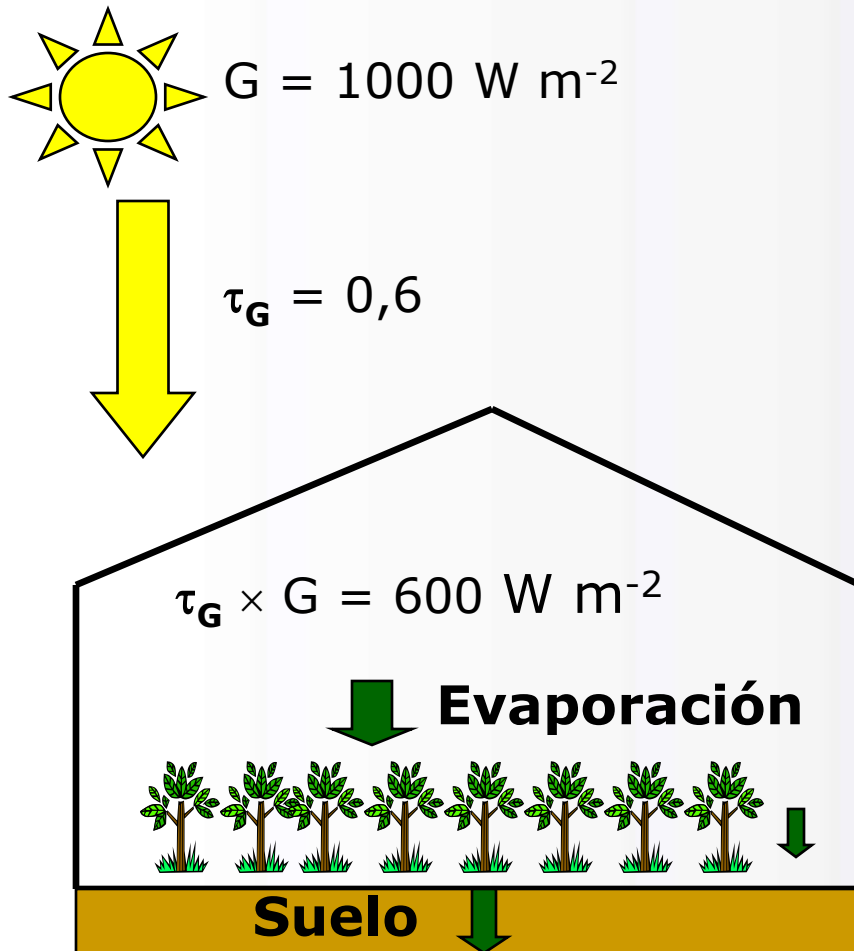
# Ventilación



- Previene de temperaturas elevadas
- Aporta CO<sub>2</sub> a partir del aire exterior
- Control de la humedad
- El flujo de aire afecta al crecimiento de las plantas (intercambio de gas y energía entre plantas y el aire circundante)
- La ventilación es necesaria para los sistemas de refrigeración por evaporación y sombreado
- Proporciona un clima uniforme
- Reduce el consumo de energía y electricidad

# Ventilar por exceso de temperatura





**Un cultivo sano y bien desarrollado es capaz de retirar el 70% del exceso de energía**



Ventilar para controlar la humedad

## Humedad relativa (%) óptima en cultivos hortícolas

<b>Cultivo</b>	<b>HR</b>
<b>Tomate</b>	50-60
<b>Pimiento</b>	50-60
<b>Berenjena</b>	50-65
<b>Pepino</b>	70-90
<b>Melón</b>	60-70
<b>Calabacín</b>	65-80
<b>Sandía</b>	65-75
<b>Judía</b>	60-75
<b>Fresón</b>	70-80
<b>Guisante</b>	65-75
<b>Lechuga</b>	60-80
<b>Acelga</b>	60-70
<b>Apio</b>	65-80

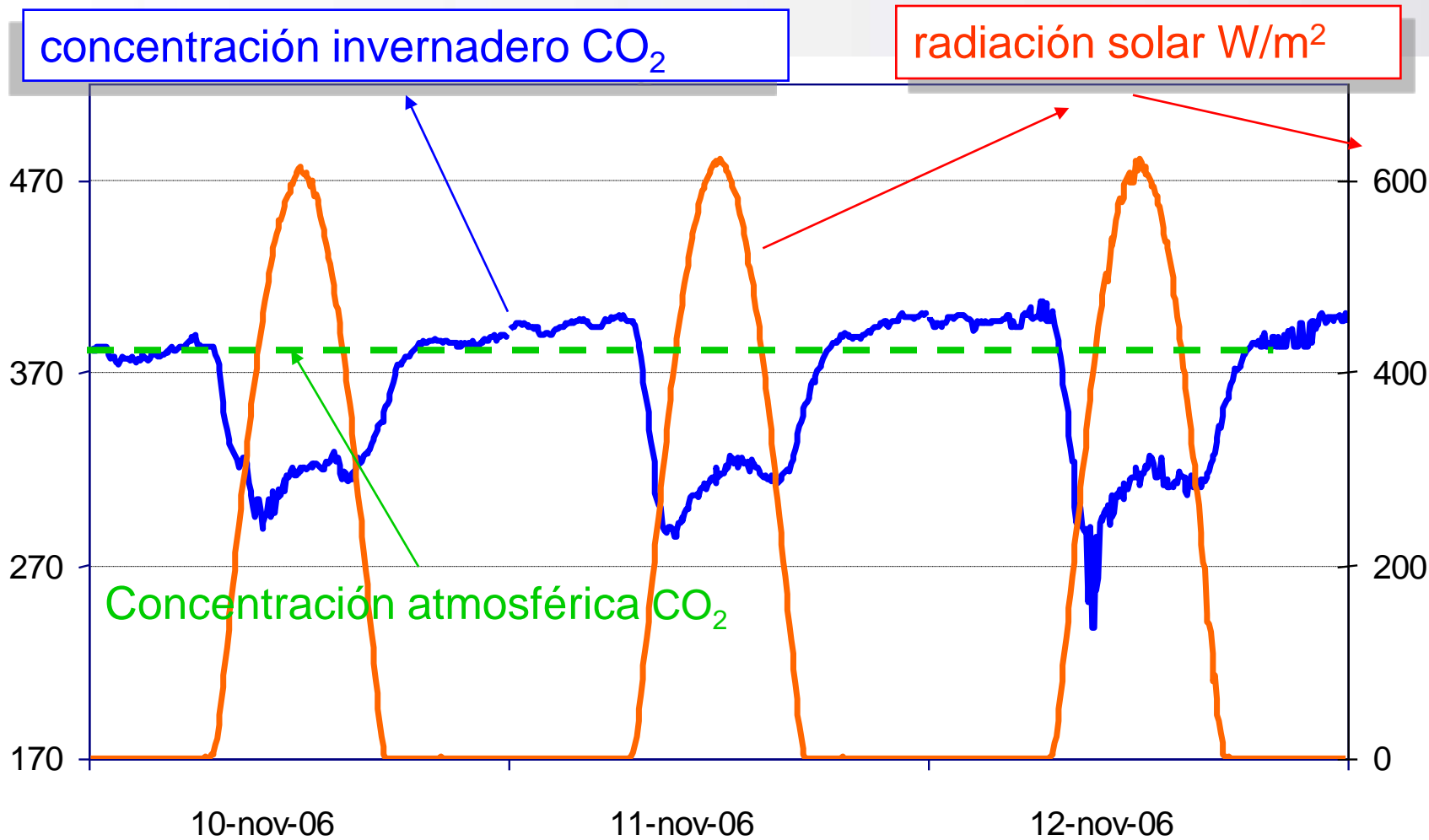


Enfermedades criptogámicas



Fisiopatías y otros problemas

# Concentración CO<sub>2</sub> en invernadero



Las Palmerillas, 2006



# FUERZAS “MOTORAS” DE LA VENTILACIÓN NATURAL

## EFECTO TÉRMICO

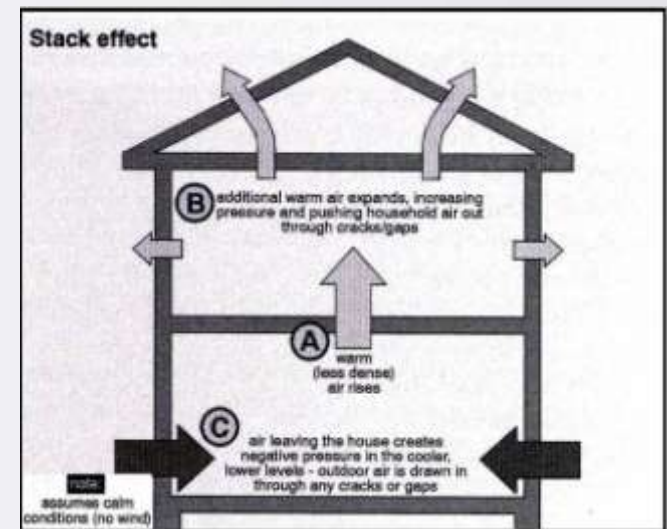
$$\Phi = \frac{S}{2} C_d \left[ \left( 2g \frac{\Delta T H}{T} \right)^2 \right]^{1/2}$$

DOMINA SI  $V_{\text{VIENTO}} < 2-3 \text{ m s}^{-1}$

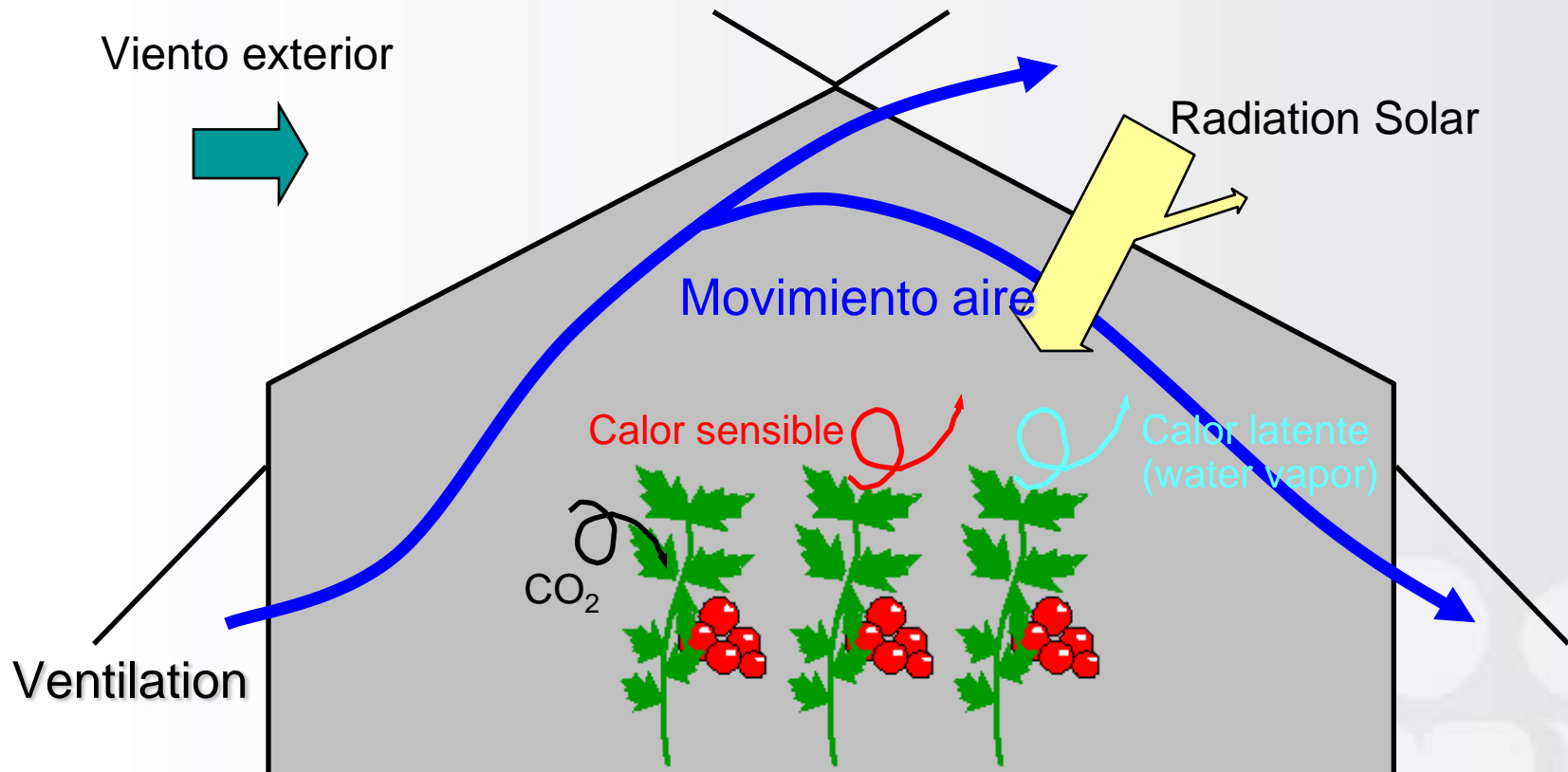
## EFECTO EÓLICO

$$\Phi = \frac{S}{2} C_d \sqrt{C_w} v$$

DOMINA SI  $V_{\text{VIENTO}} > 3 \text{ m s}^{-1}$



# El movimiento del aire afecta a la uniformidad del ambiente del inverandero (aire, temperatura, CO<sub>2</sub>) y al crecimiento de la planta



# TAMBIÉN ES MUY IMPORTANTE VENTILAR...



**POR LA MAÑANA PARA ELIMINAR GASES POTENCIALMENTE FITOTÓXICOS Y NOCIVOS EN SISTEMAS DE CALEFACCIÓN DE AIRE COMBUSTIÓN POR COMBUSTIÓN DIRECTA**



**ANTES DE ENTRAR AL INVERNADERO A TRABAJAR DESPUÉS DE REALIZAR TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS**

**UNA BUENA VENTILACIÓN DEBE CONTRIBUIR TAMBIÉN A MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO DE LOS TRABAJADORES DEL INVERNADERO.**



**POR LA MAÑANA, EN CASO DE USAR SUBLIMADORES POR LA NOCHE, ANTES DE ENTRAR A TRABAJAR AL INVERNADERO**

# UNO DE LOS PRINCIPALES PROBLEMAS DE LOS INVERNADEROS DE ALMERÍA

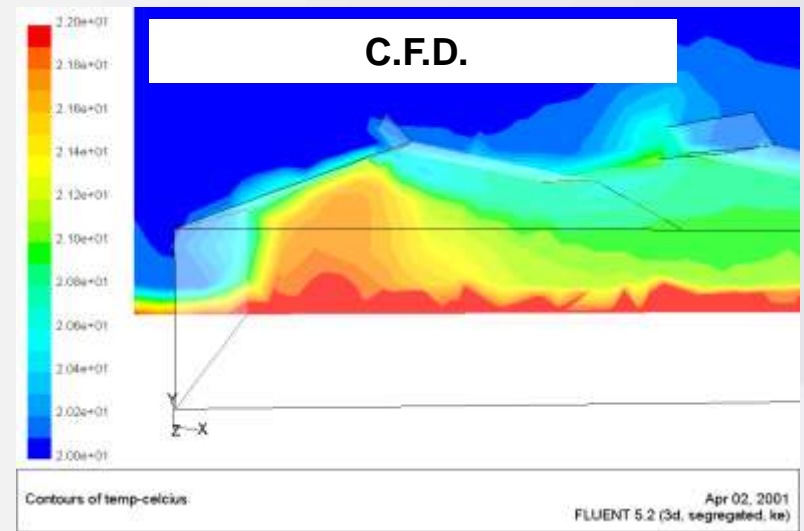
**VENTILACIÓN NATURAL DEFICIENTE**

**INSUFICIENTE AREA  
DE VENTANAS**

**TIPOS DE VENTANAS  
POCO EFICACES**

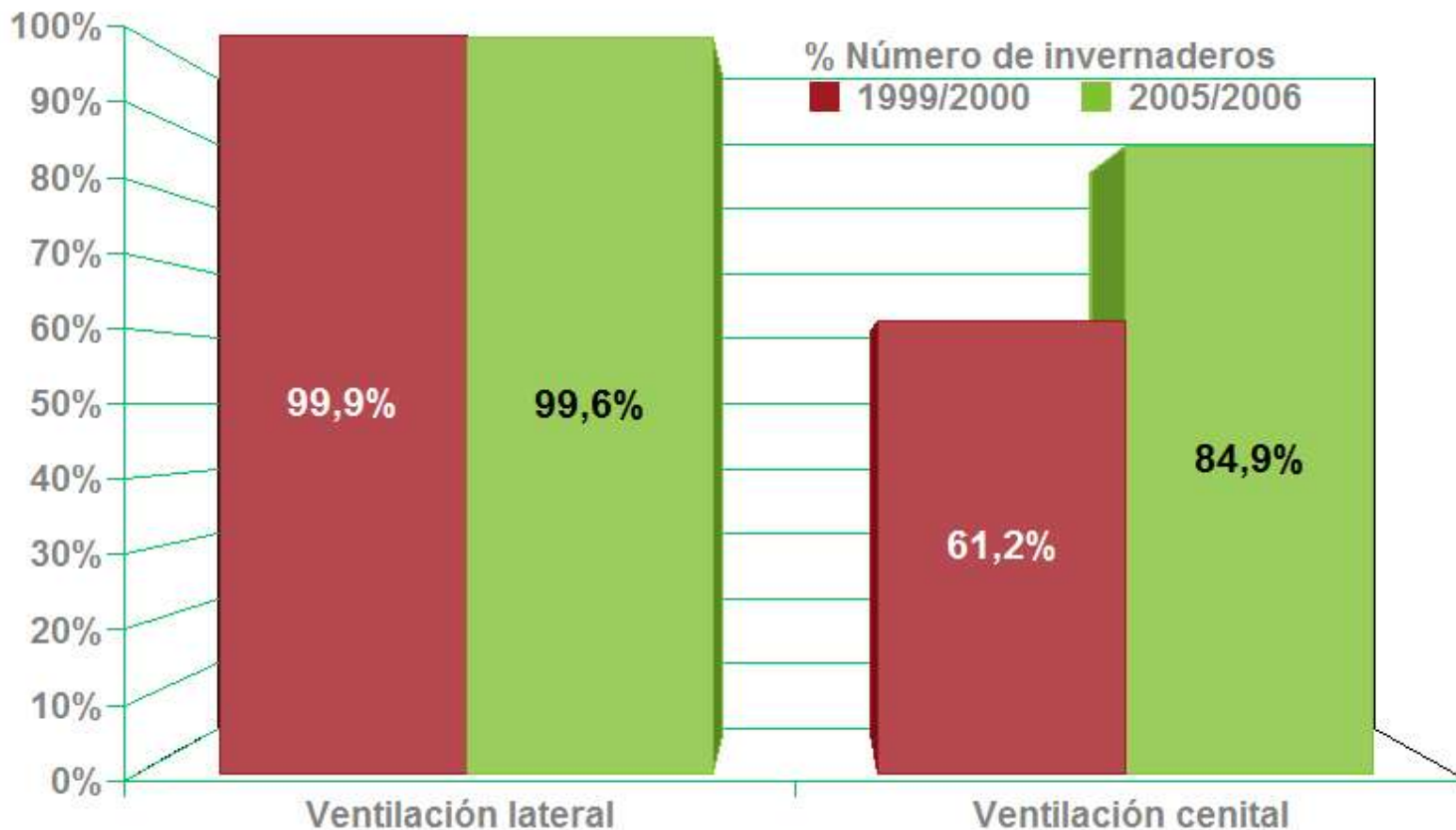
**USO DE MALLAS ANTI-  
INSECTO DE BAJA  
POROSIDAD**

# Métodos de estudio de la ventilación natural



# Evolución de la incorporación de ventanas al invernadero

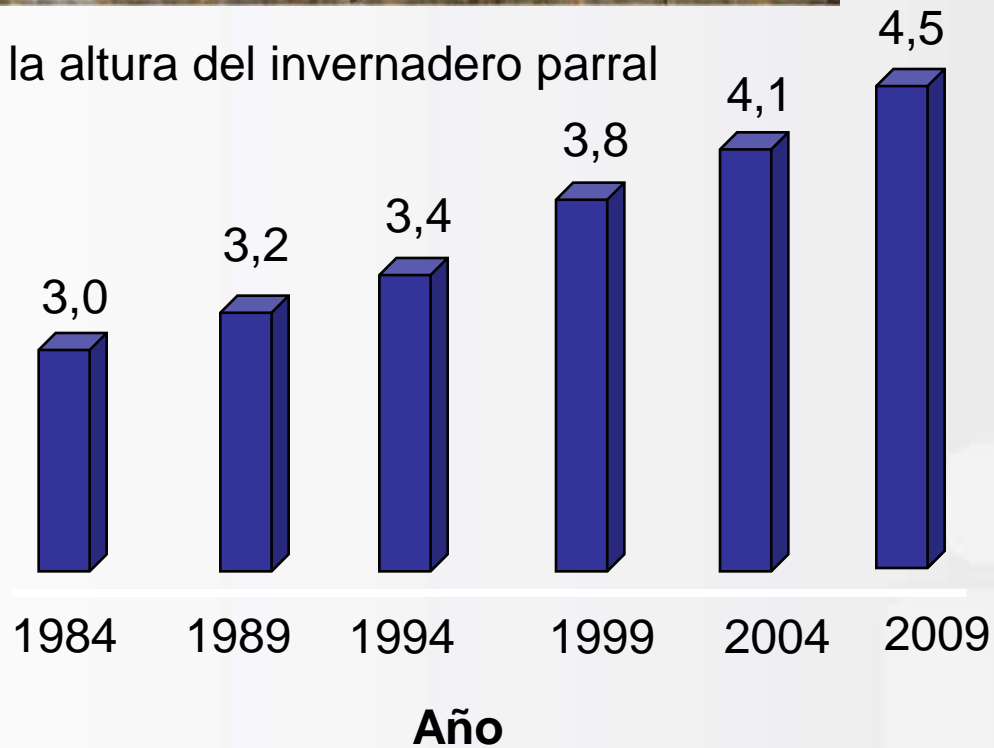
**Superficie de ventilación recomendada 25% (sin malla)**  
**Superficie de ventilación media en Almería 12%**



## Mayor altura del invernadero

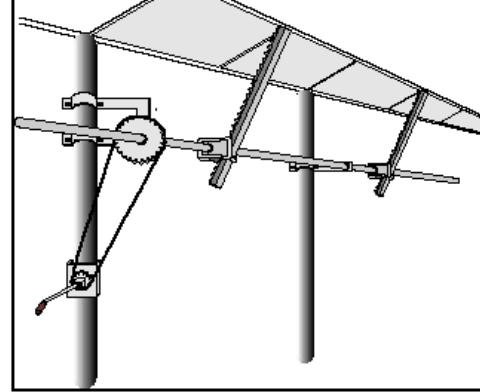


Evolución de la altura del invernadero parral



Altura a cumbre  
Raspa y amagado  
(m)

**Ventanas deslizantes**



*Figura 1.9-Ventana cenital abatible manual*

**Ventana cenital abatible**



**Ventana lateral enrollable**





**Ventana cenital enrollable**



**Ventana cenital abatible**

Mejor abatible que enrollable en el techo

Combinar ventanas laterales con cenitales duplica la ventilación

## Ventana de Sombrero



## Ventana de Medio Arco





**Ventana Centrada**

# Ventana Supercenit



A row of greenhouses with butterfly-shaped ventilation windows. The greenhouses are covered in white plastic and supported by black metal frames. The sky is blue with some clouds.

**Ventanas Mariposa**



Inv. Venlo: Ventanas cenitales continuas



**Ventanas Guillotina**



## Mejoras en la ventilación natural

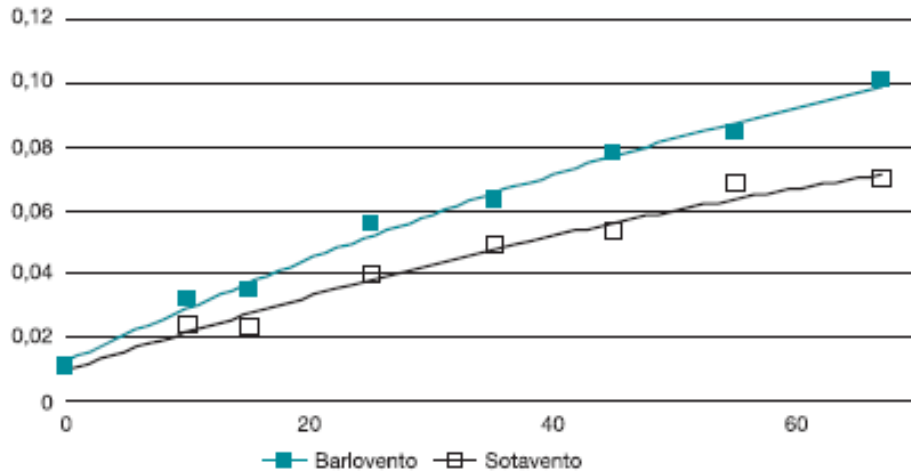


**Las ventanas laterales abren desde abajo, para maximizar el efecto chimenea, y abren hasta 3 m para obtener máxima ventilación en las épocas de más temperatura para limitar el salto térmico.**

# Invernadero Parral



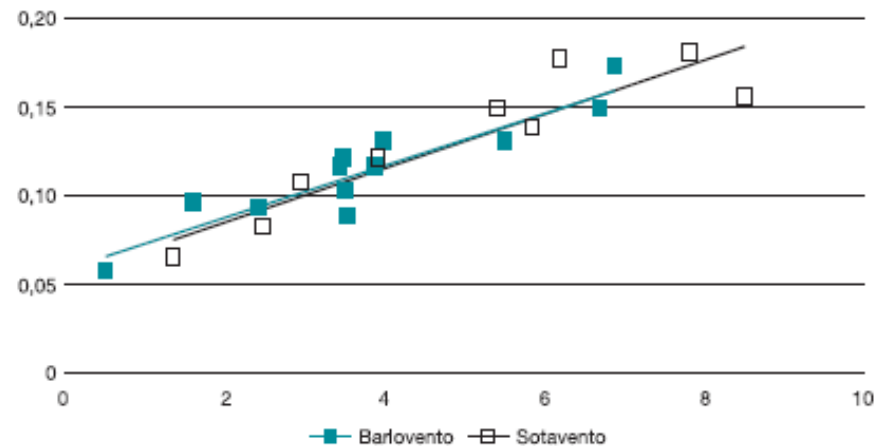
**Gráfico 6. Tasa de ventilación ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ) en función del ángulo de apertura ( $^\circ$ ) de la ventana**



\* Con ventanas abatibles la tasa de ventilación no crece linealmente a medida que se abre el alerón.

- En **ventanas abatibles cenitales**: Mayor ventilación a Barlovento que a Sotavento
- Mayor superficie de ventana mayor Tasa de ventilación

**Gráfico 7. Tasa de ventilación ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ) en función de la velocidad del viento ( $\text{m/s}$ ) en invernaderos tipo parral con ventanas enrollables**



\* La dirección del viento no tiene ninguna influencia sobre la tasa de ventilación en invernaderos de raspa y amagado con ventanas cenitales enrollables.

En **ventanas enrollables cenitales**: Igual ventilación a Barlovento que a Sotavento

Figura 6. Vectores de velocidad del aire dentro y alrededor de la primera capilla sobre la que incide el viento para ventilación de barlovento y de sotavento

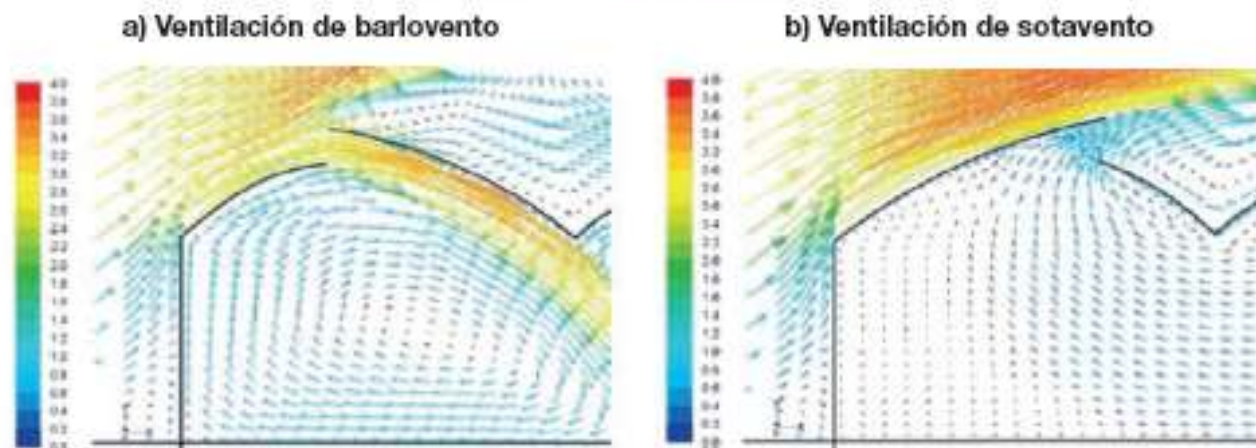
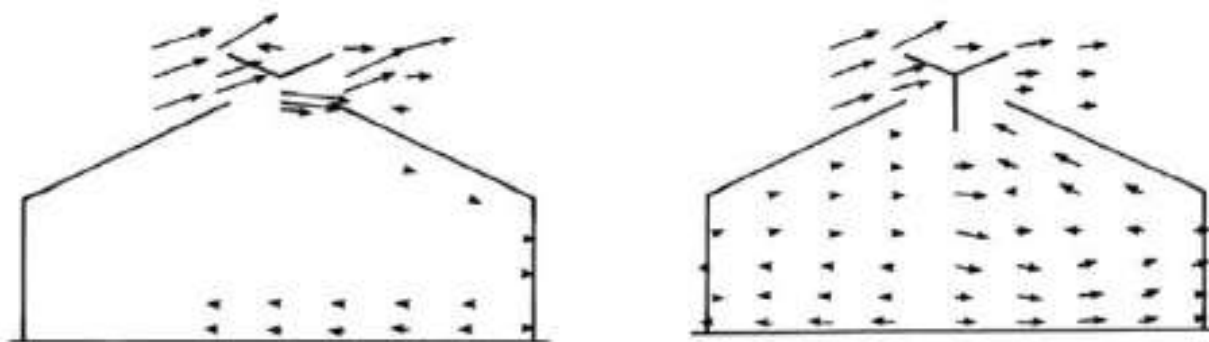
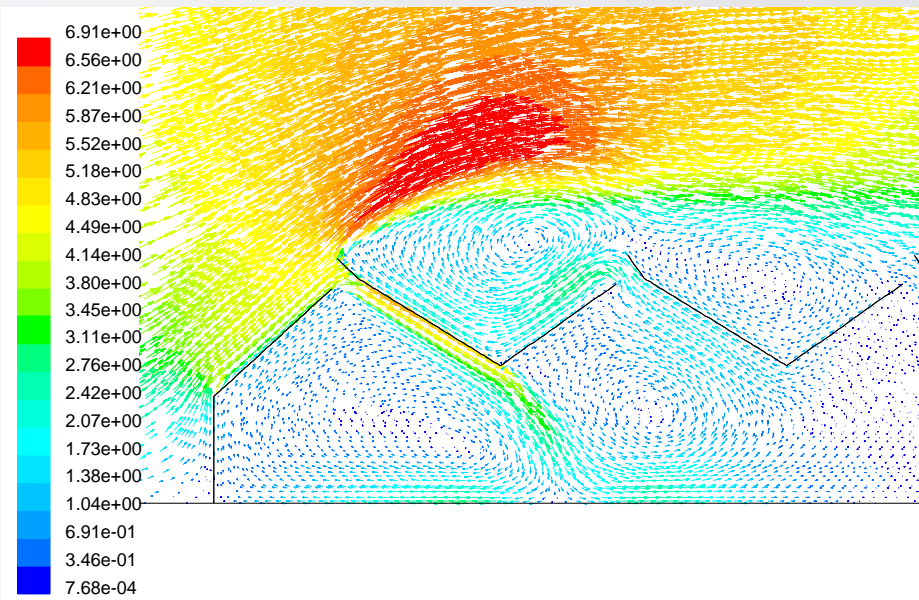
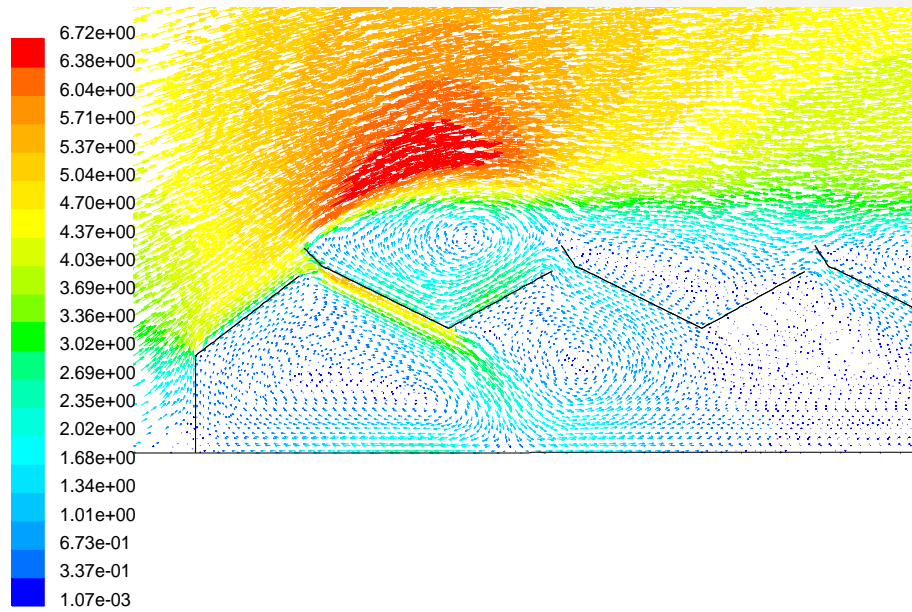
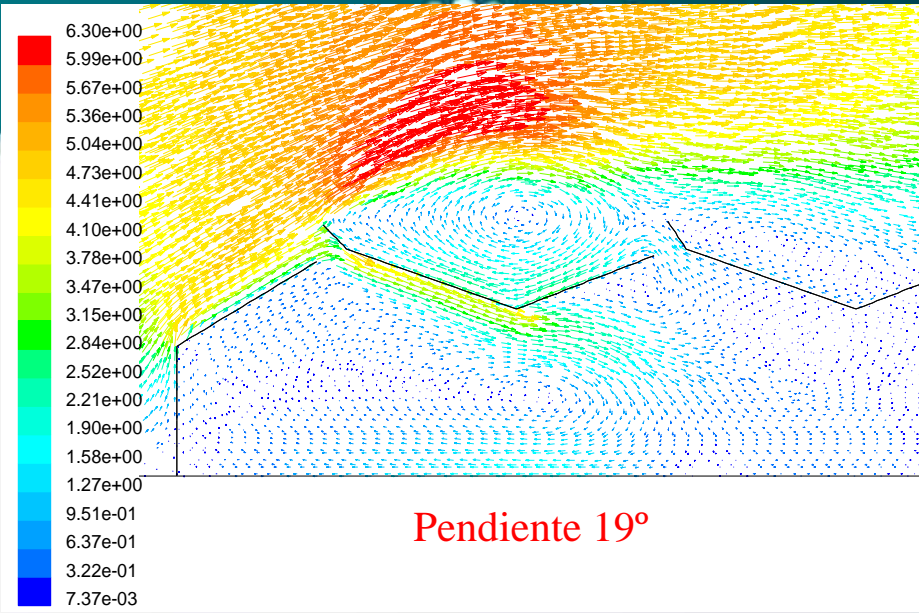
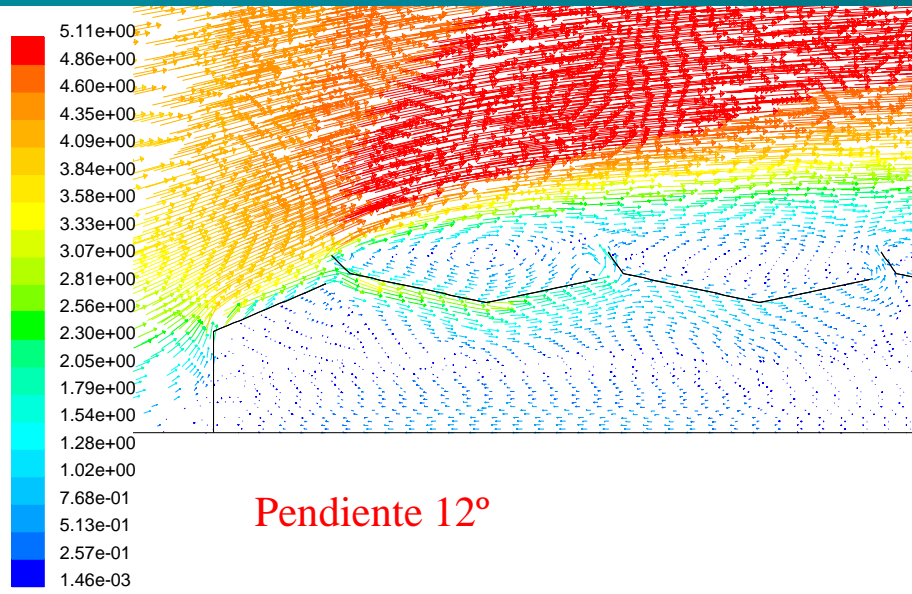


Figura 9. Efecto de un deflector colocado bajo las ventanas cenitales sobre la circulación interior del aire



Fuente: Nielsen (2002).

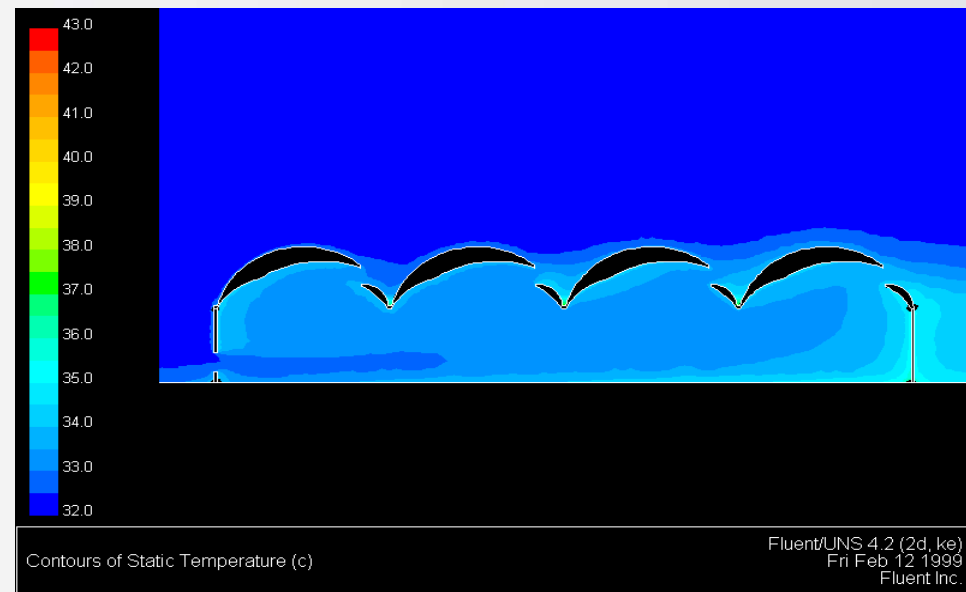
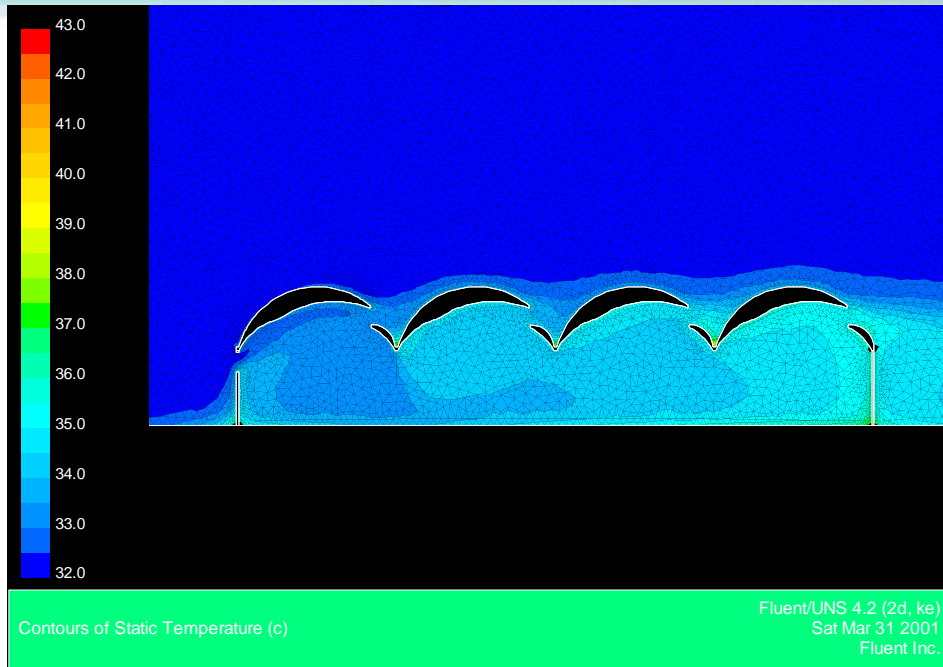


# Humedad y Condensación

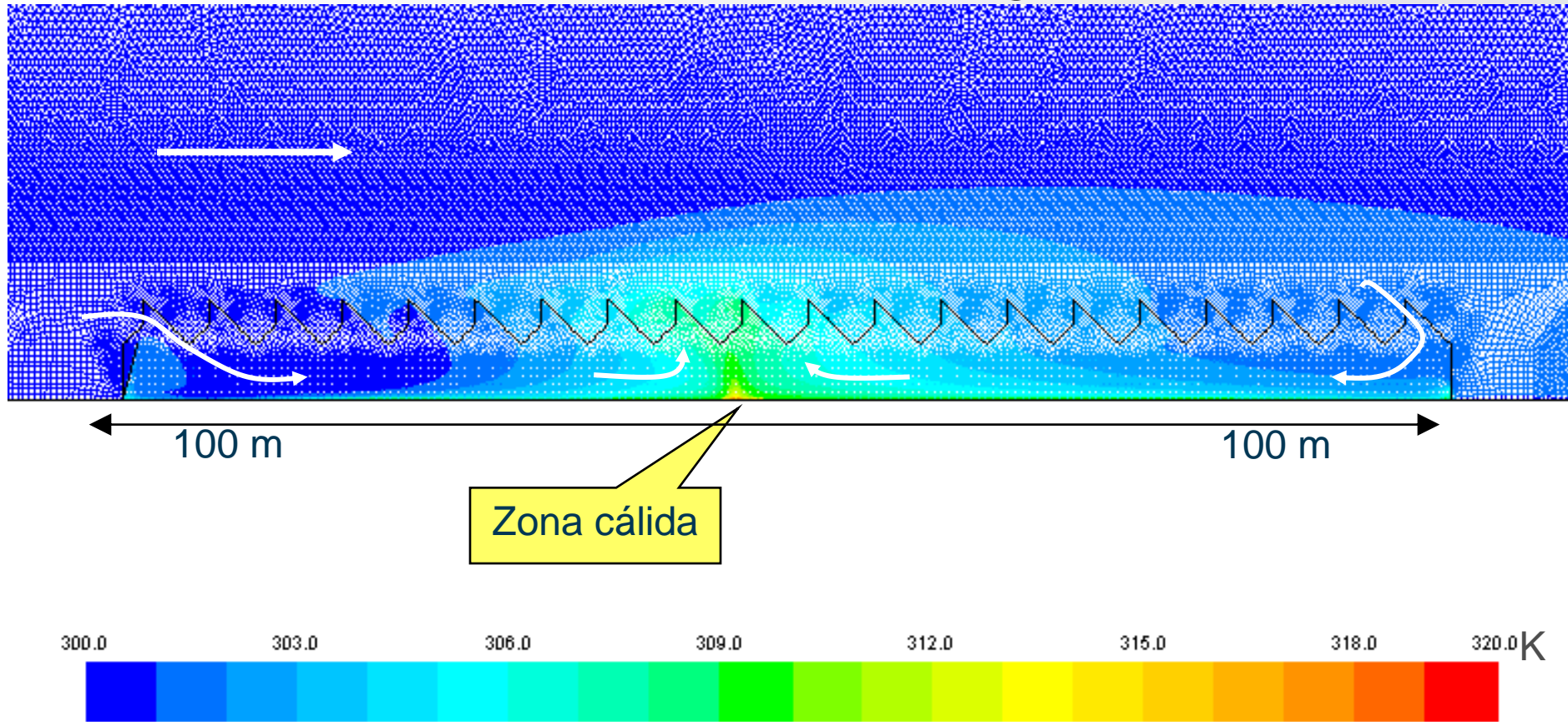


- Pendiente suficiente para que escurra el condensado
- Aditivos antigoteo para aumentar transmisión de luz

## Posición de la apertura de la ventana lateral



# Ventilación de invernaderos grandes

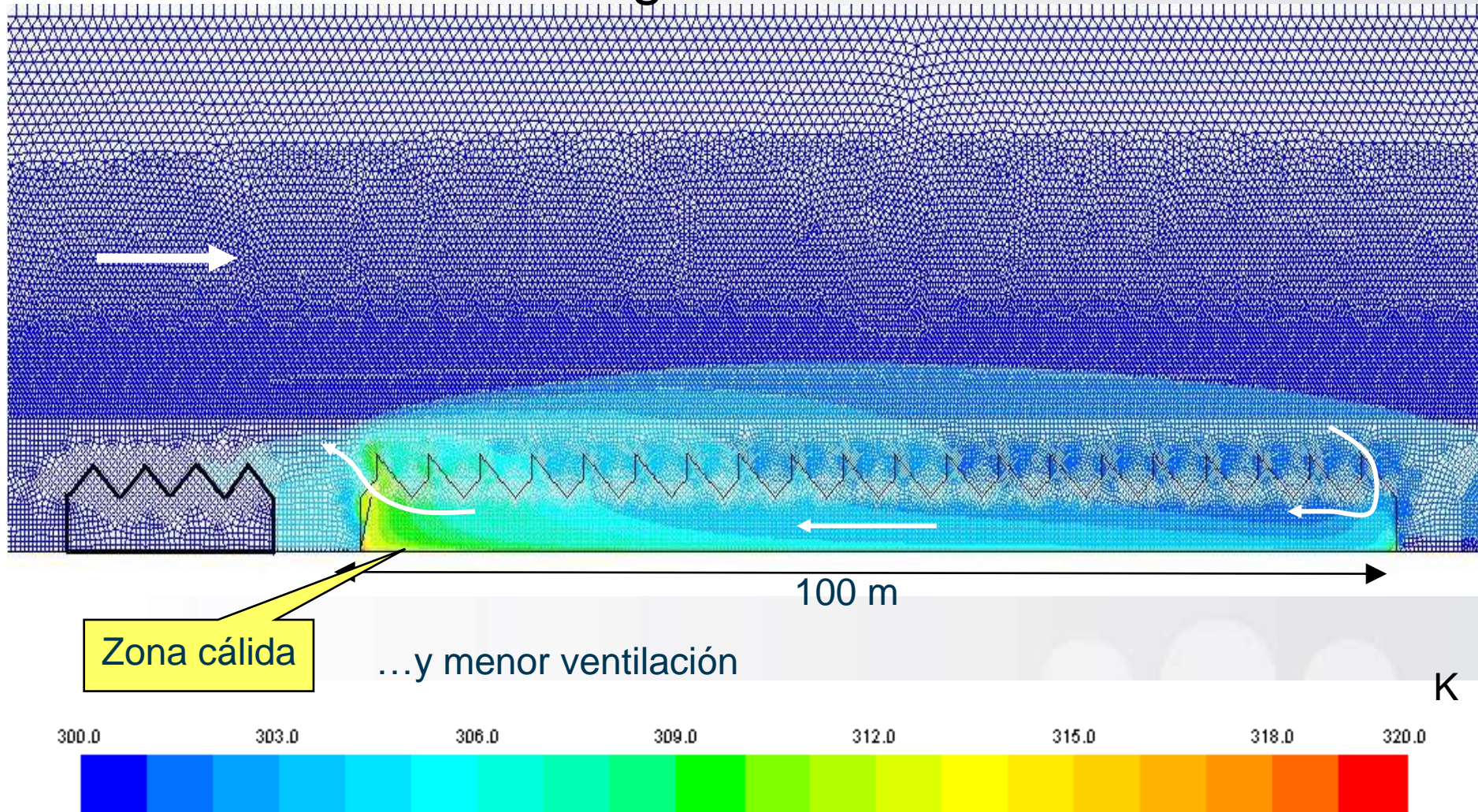


Contours of Static Temperature (k)

Mar 22, 2010  
ANSYS FLUENT 12.1 (2d, pbns, rngke)



# Invernaderos grandes: obstáculos



# Efecto de las mallas en las ventanas



Las mallas en las ventanas de los invernaderos permiten controlar la entrada de insectos: mosca blanca, trips , tuta ...



### Insectos vectores de virus:

- *Frankliniella occidentalis*



Tamaño de hueco para exclusión:  $\varnothing < 0,19 \text{ mm}$

- *Bemisia tabaci*



Tamaño de hueco para exclusión:  $\varnothing < 0,24 \text{ mm}$

- *Tuta*



Tamaño de hueco para exclusión:  $\varnothing < 2 \text{ mm}$

# ¿Qué malla podemos poner para impedir la entrada de insectos ?



**Las mallas en las ventanas provocan una reducción de la renovación del aire ( $T^a$ , HR,  $CO_2$ ) y luz**

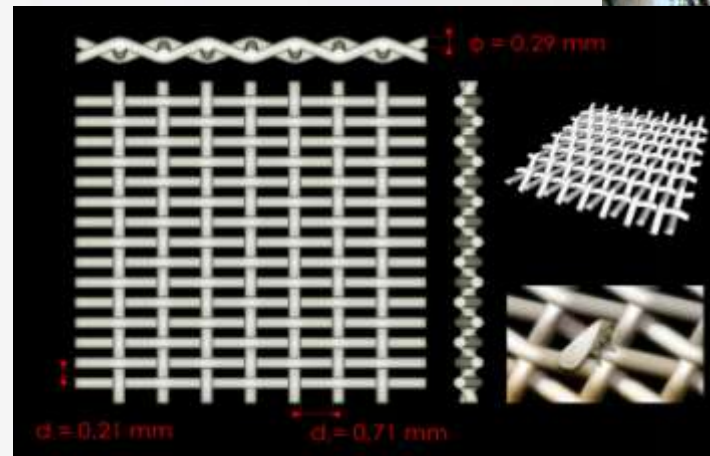
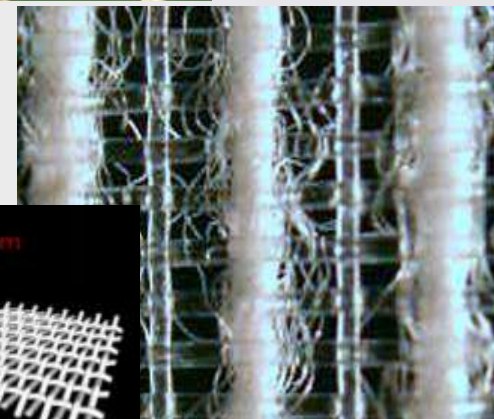
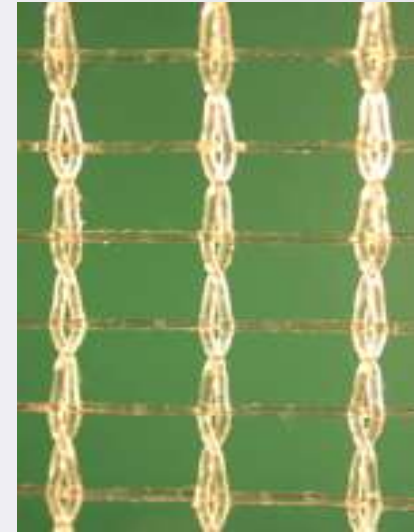
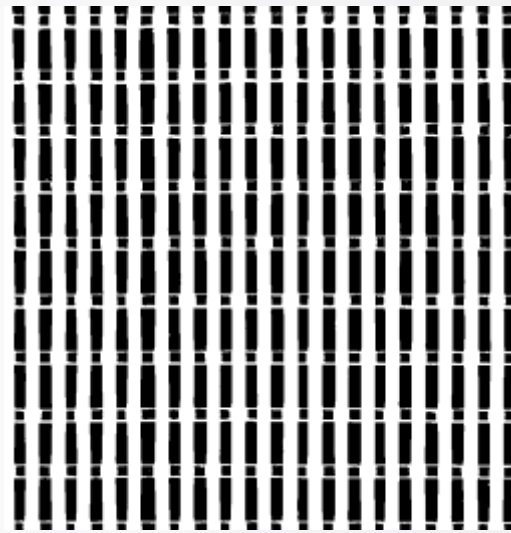
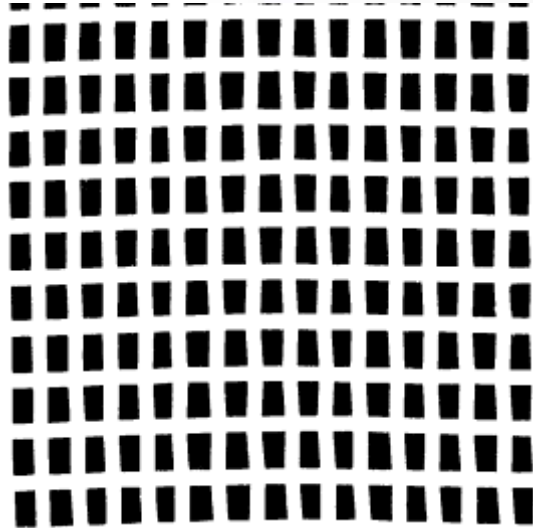


**Superficie de ventilación recomendada 25% (sin malla)**

**Superficie de ventilación media en Almería 12% (con malla)**

# Malla 20 x 10

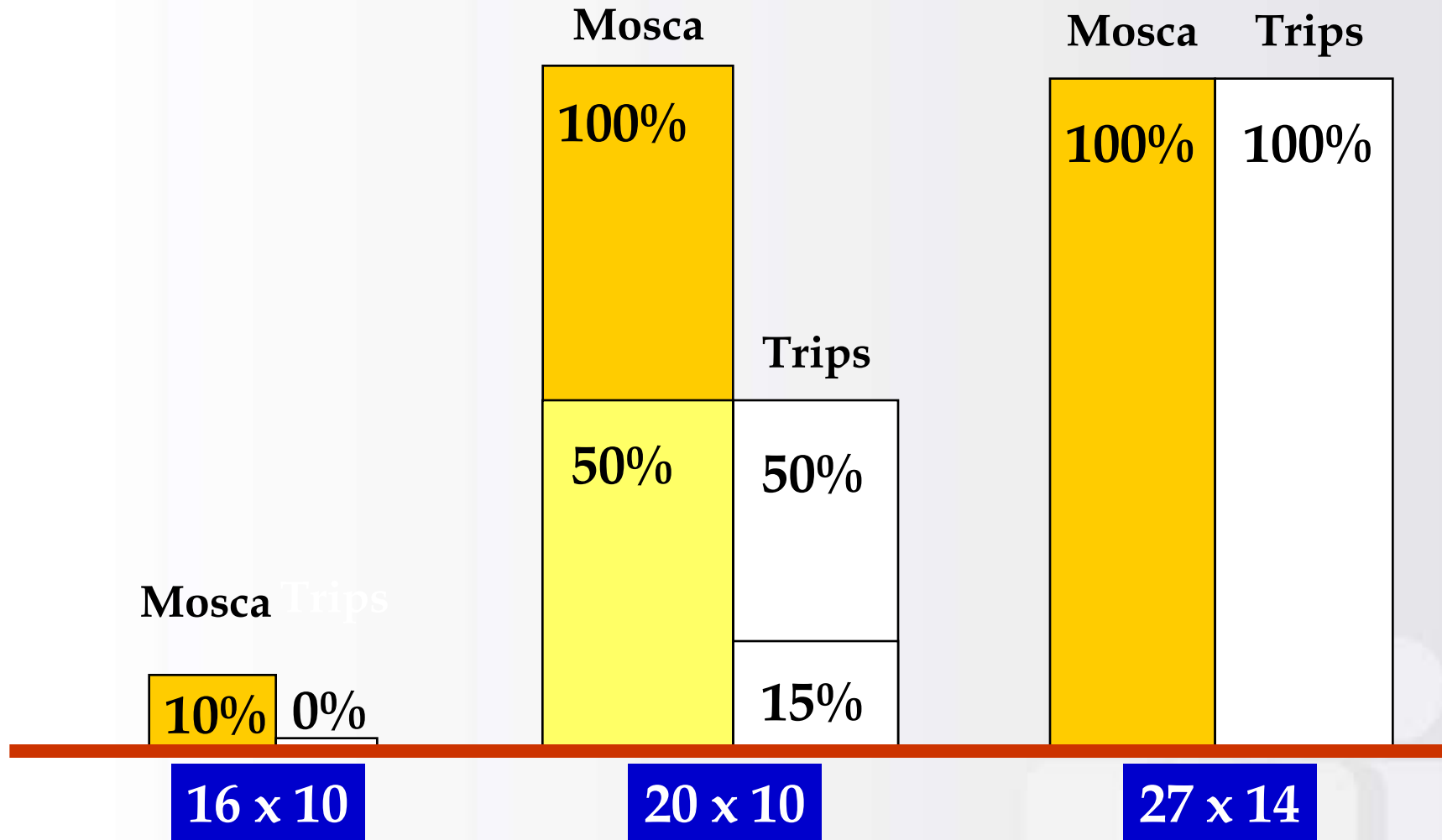
## Malla 16 x 10



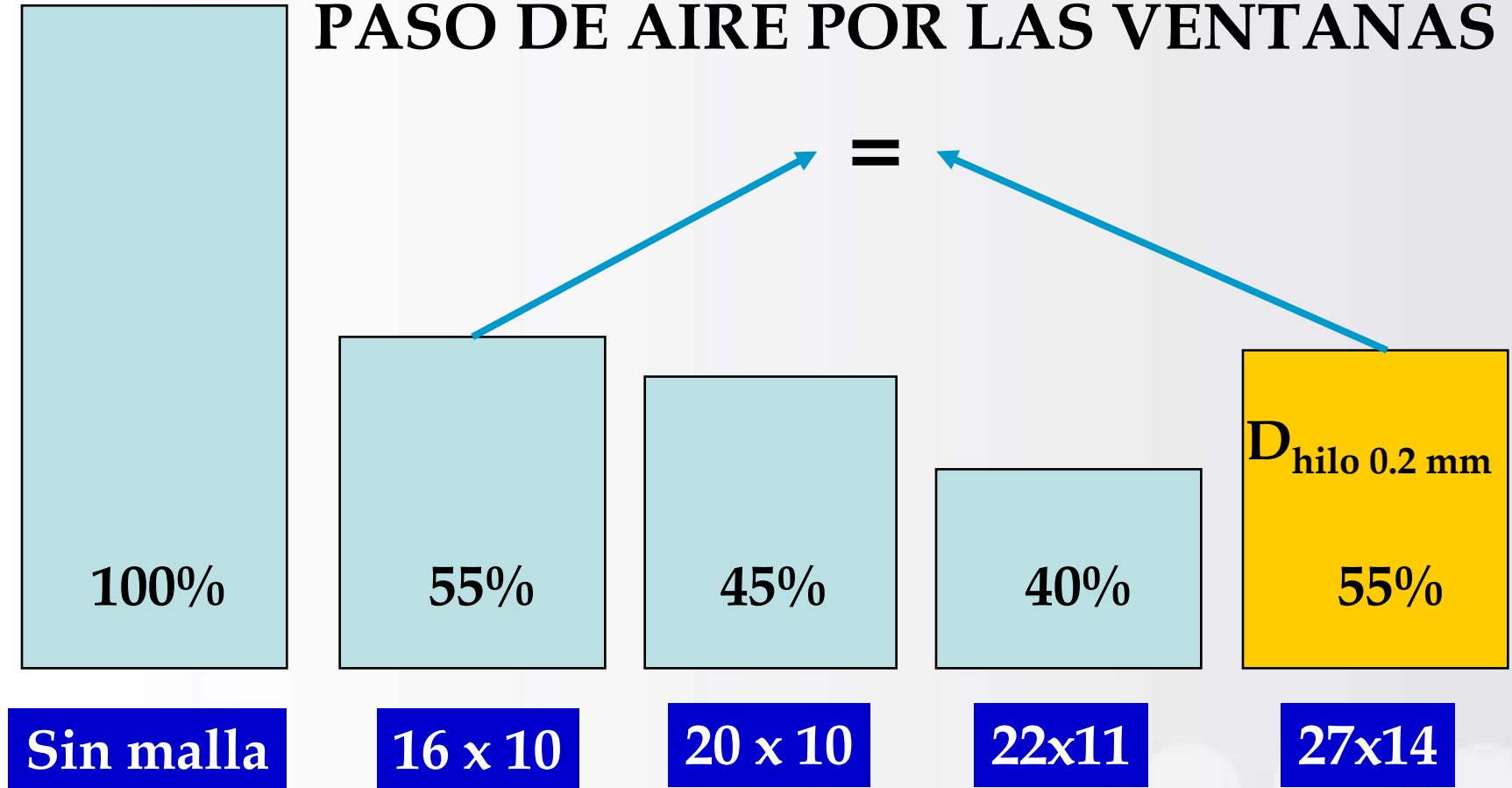
# Malla: características a definir

- Entrada de insectos: dimensión del hueco (2D, 3D)
- Diámetro del hilo
- Resistencia al flujo de aire
- Propiedades ópticas
  - Transmisividad espectral
  - Reflexión espectral
- Acumulación de polvo
- Propiedades mecánicas
- Resistencia UV : 5 años, 3 años ...
- Uniformidad

# Exclusión de las plagas



## PASO DE AIRE POR LAS VENTANAS



Efecto de las mallas en las ventanas sobre la ventilación



# LAS MALLAS REDUCEN LA VENTILACIÓN

## SOLUCIONES

- Aumentar la superficie de ventilación (aconseja  $> 20 \%$ )
- Ventanas más eficientes (abatibles frente enrollables)
- Combinar ventanas laterales y cenitales
- Diseño del invernadero (pendiente, geometría, orientación)
- Utilizar mallas más eficientes

# LIMPIEZA DE MALLAS



# Doble techo en invernaderos



## Ventajas:

- Aumento de la temperatura mínima nocturna (2-3°C en dobletechos cerrados y 1-2°C en dobles techos abiertos).
- Reducción de las oscilaciones de T<sup>a</sup> y HR.
- Eliminación del goteo sobre el cultivo (muy importante en el control de enfermedades fúngicas, fisiopatías y básico para instalar con éxito el *A. swirskii* en pepino medio-tardío)



## Problemas (usándolo mal):

- Reducción de la ventilación: golpes de calor a mediodía
- Problemas fitosanitarios.
- Actividad de planta (malas condiciones de transpiración)
- Reducen la radiación
- Agotamiento de CO<sub>2</sub>

**Cuando no hay altura suficiente:**  
 Doble techo estrecho de "poniente a levante" (Láminas plásticas perpendiculares a las líneas de cultivo)



Muy utilizado en pepinos extra-tardíos y con calefacción

**Ventilación por los pasillos**  
 (en doble techos de "poniente a levante")



Colocar la tira del pasillo de manta térmica para permitir algo de ventilación durante el día (poco eficaz, pero puede ser suficiente en algunos casos).

**Doble techo estrecho de "norte a sur"**  
 (Láminas plásticas paralelas a las líneas de cultivo)



Se deja una separación bastante grande entre las tiras plásticas, con lo que queda un doble techo muy ventilado bajo el que apenas se consigue incremento térmico. ES MÁS UN PARAGUAS QUE UN ABRIGO.

**En los invernaderos de zonas cálidas, como los de Almería, la ventilación natural es esencial:**

- Es la forma más barata, sencilla y efectiva que tiene el agricultor para actuar sobre el clima del invernadero.**
- Su estudio es complejo porque depende de las condiciones del clima exterior y de la geometría de cada invernadero**



Muchas Gracias

