



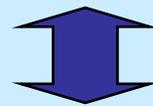
Tecnología para adecuar las temperaturas mínimas. Estrategias de control de los sistemas de calefacción. Métodos activos y pasivos.

Juan Carlos López Hernández
FUNDACION CAJAMAR

Niveles inferiores a la temperatura mínima biológica provocan:

- Reducción del transporte y distribución de asimilados.
- Disminución de la absorción de agua y sales.
- Pérdida de fertilidad.
- Reducción del crecimiento.

T^a media nocturna invernal (7-9°C) < T^a óptima nocturna (15-20°C)



↓ Productividad



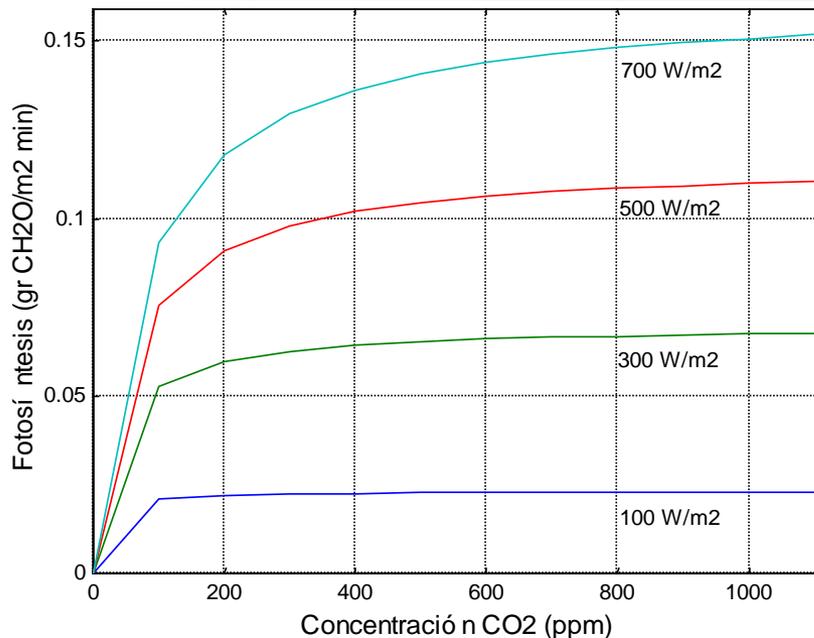
↓ Calidad frutos



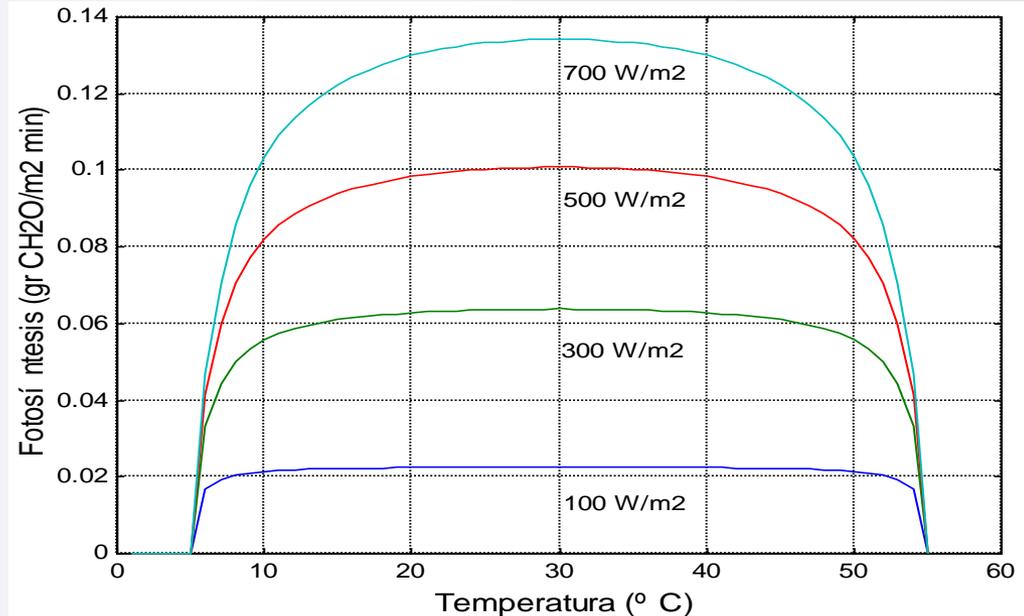
↑ Precios altos



La condición de 'clima óptimo' varía según interdependencia entre las variables climáticas



(F. Rodríguez)

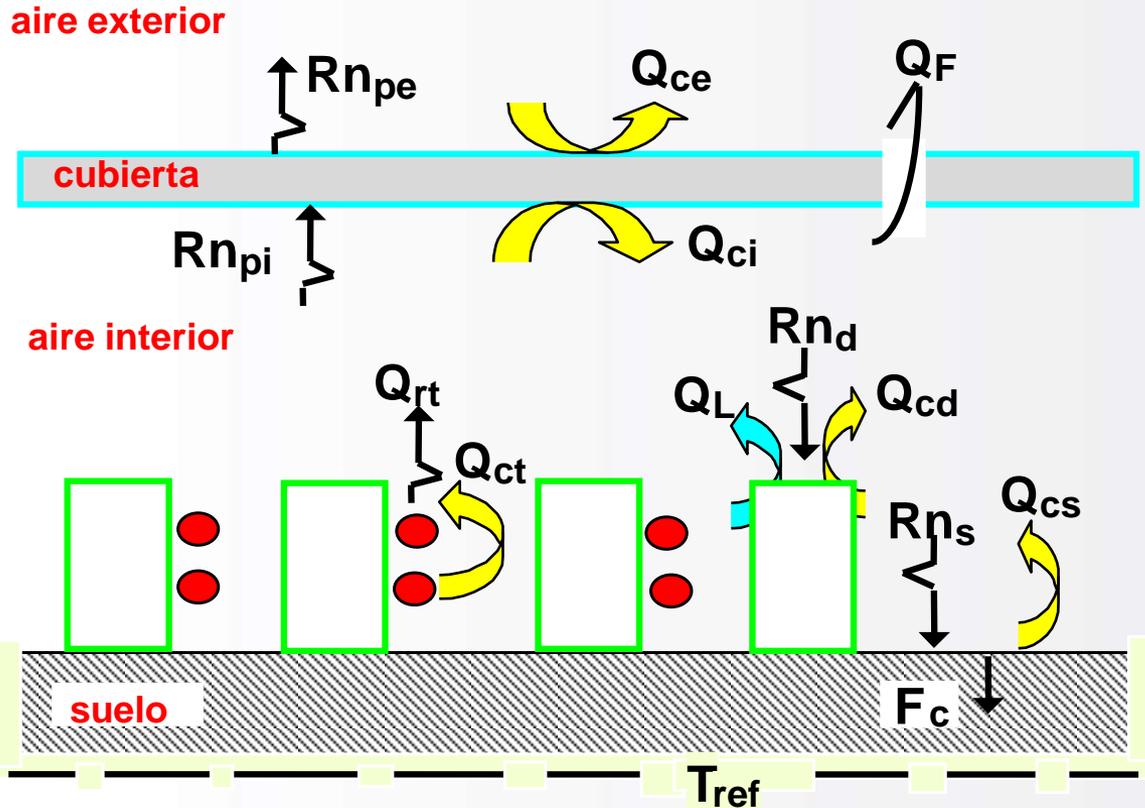


¡ Buscamos un óptimo económico !

Cálculo de las necesidades energéticas del invernadero para periodos fríos



Intercambios energéticos del invernadero



Pared

$$Rn_{pi} + Q_{ci} - Rn_{pe} - Q_{ce} = \Delta Q_p$$

Aire interior

$$Q_{cd} + Q_{ct} + Q_{cs} - Q_{ci} - Q_F = \Delta Q_a$$

Vegetación

$$Rn_d - Q_{cd} - Q_L = \Delta Q_d$$

Suelo

$$Rn_s - Q_{cs} - F_c = \Delta Q_s$$

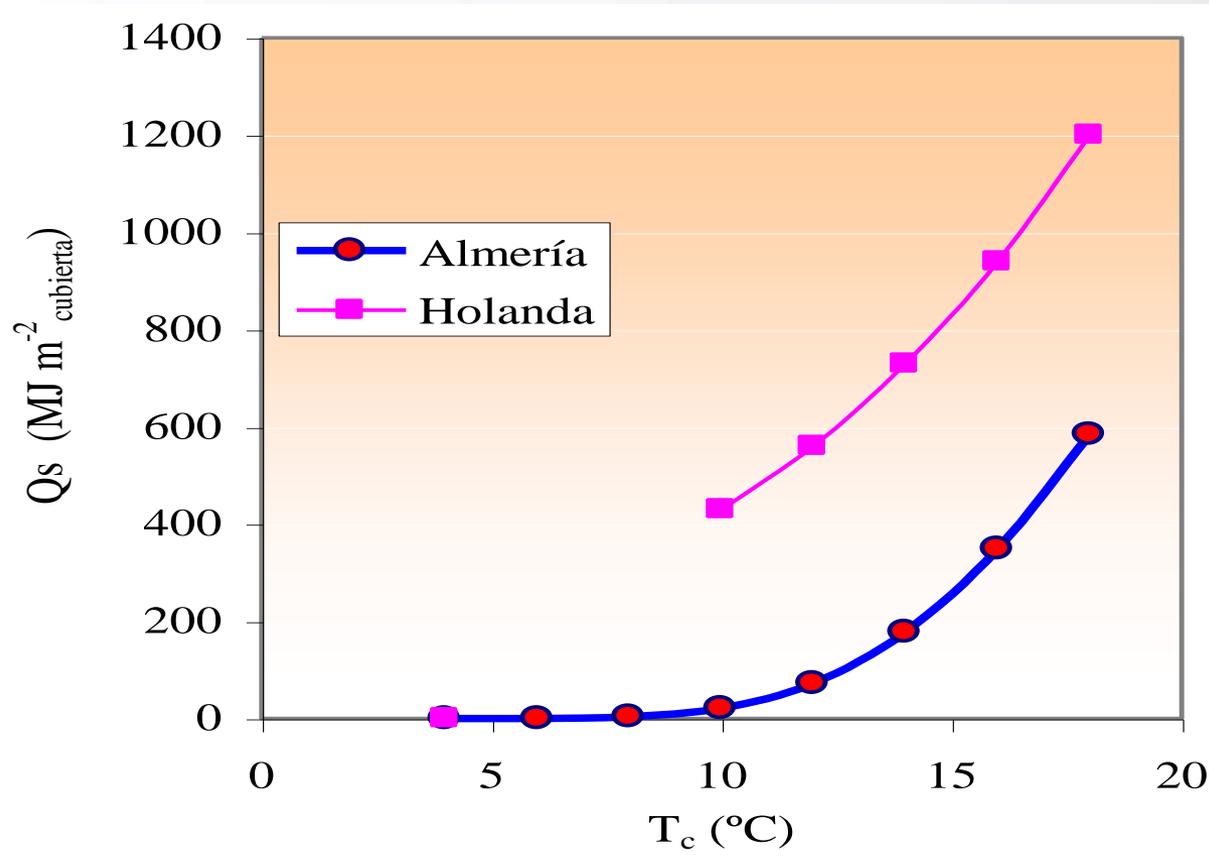
PÉRDIDAS TOTALES= Pérdidas cubierta (q_c) + Pérdidas fugas (q_i)

$$Q_t = q_c + q_i$$

$$q_c = U \cdot (T_i - T_e)$$

U: Coeficiente global de pérdidas de calor a través de la cubierta:
convección, conducción y radiación (**ASAE, 2000**)

Material de cubierta	U (W m ⁻² pared °C ⁻¹)
Vidrio sencillo sellado	6,2
Vidrio sencillo baja emisividad	5,4
Vidrio doble sellado	3,7
Film plástico simple	6,2
PE doble	4,0
PE térmico doble	2,8
PC simple corrugado	6,2 - 6,8
PC rígido doble	3,2 - 3,6
PMMA rígido doble	3,2
Vidrio simple + Pantalla térmica (film plástico)	4,0
PE doble + Pantalla térmica (film plástico)	2,5



Consumo acumulado de energía (Q_s , MJ m⁻²_{suelo}) para un año medio y distintas temperaturas de consigna (T_c , °C). El Ejido, Almería y Holanda

Necesidades energéticas anuales para diferentes temperaturas de consigna de invernadero en dos localidades (El Ejido, Níjar).

T ^a consigna (°C)	Necesidades energéticas anuales Q (KWh/m ² año)	
	El Ejido (S. M ^a del Águila)	Níjar (Campohermoso)
6	0,75	7,63
8	7,63	25,88
10	25,88	58,38
12	58,38	103,50
14	103,50	159,13
16	159,13	224,88



Sistemas activos: calefacción





AIRE COMBUSTIÓN
DIRECTA



AIRE
COMBUSTIÓN
INDIRECTA



Distribución del calor Para sistemas de por aire





TUBERÍA
METÁLICA



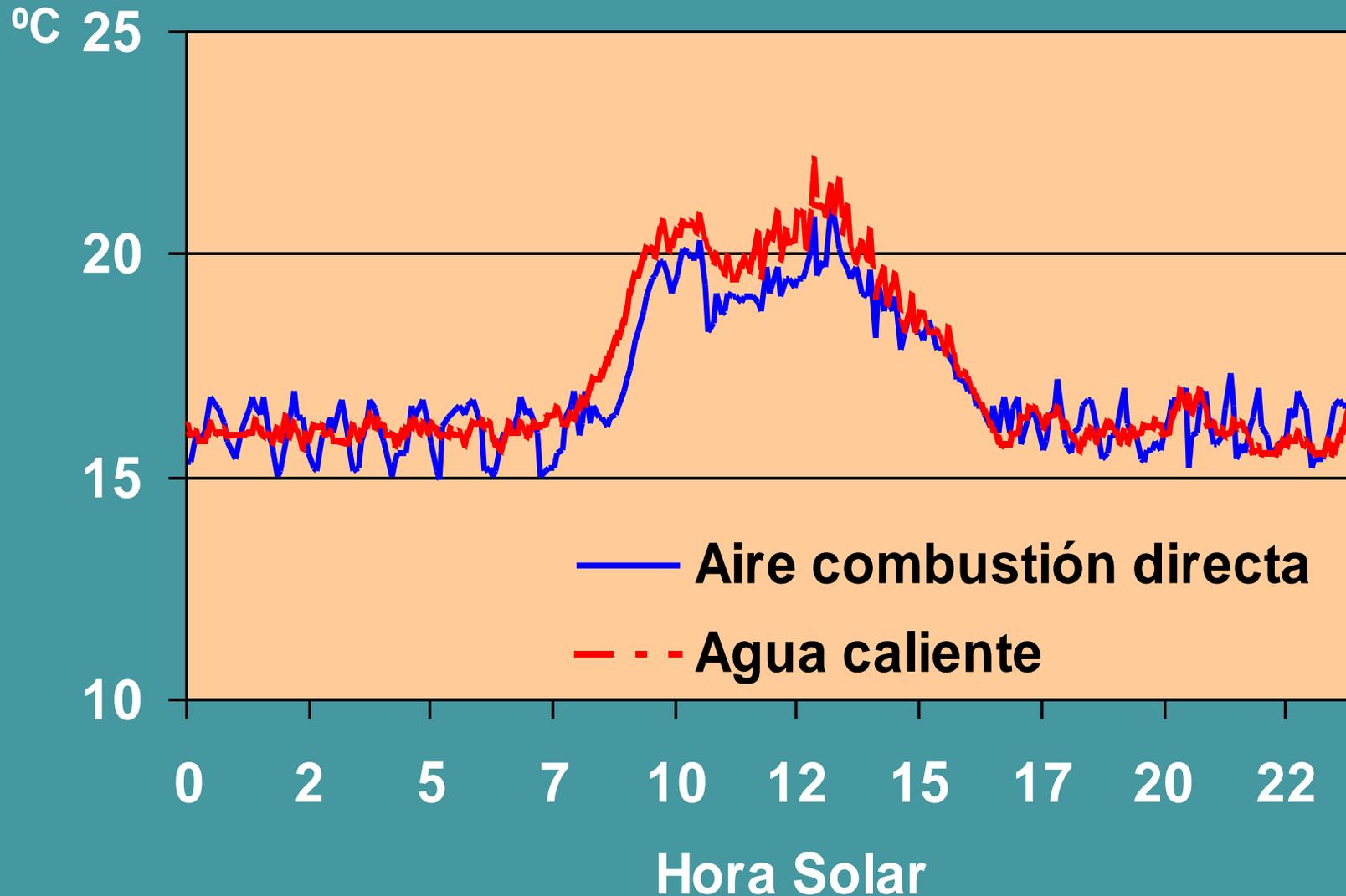
TUBERÍA PLÁSTICO



CALDERA



INFLUENCIA DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOBRE LA TEMPERATURA DEL AIRE (2 m)



Poder calorífico inferior (PCI) combustible:

Gasoil	10.146 kcal kg ⁻¹
Propano	11.450 kcal kg ⁻¹
Fueloil	9.600 kcal kg ⁻¹
Biomasa	3.000-4.500 kcal kg ⁻¹



Procesado de la biomasa: peletizado

Tipos de biomasa-residuos agrícolas

RESIDUOS DE CULTIVOS

- HERBÁCEOS:



- LEÑOSOS



RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

- FRUTOS SECOS



- ALMAZARAS



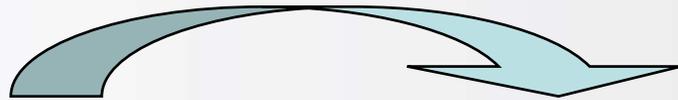
RESIDUOS VEGETALES DE INVERNADERO



Acondicionamiento de la biomasa (3)

Compactación (peletizado)

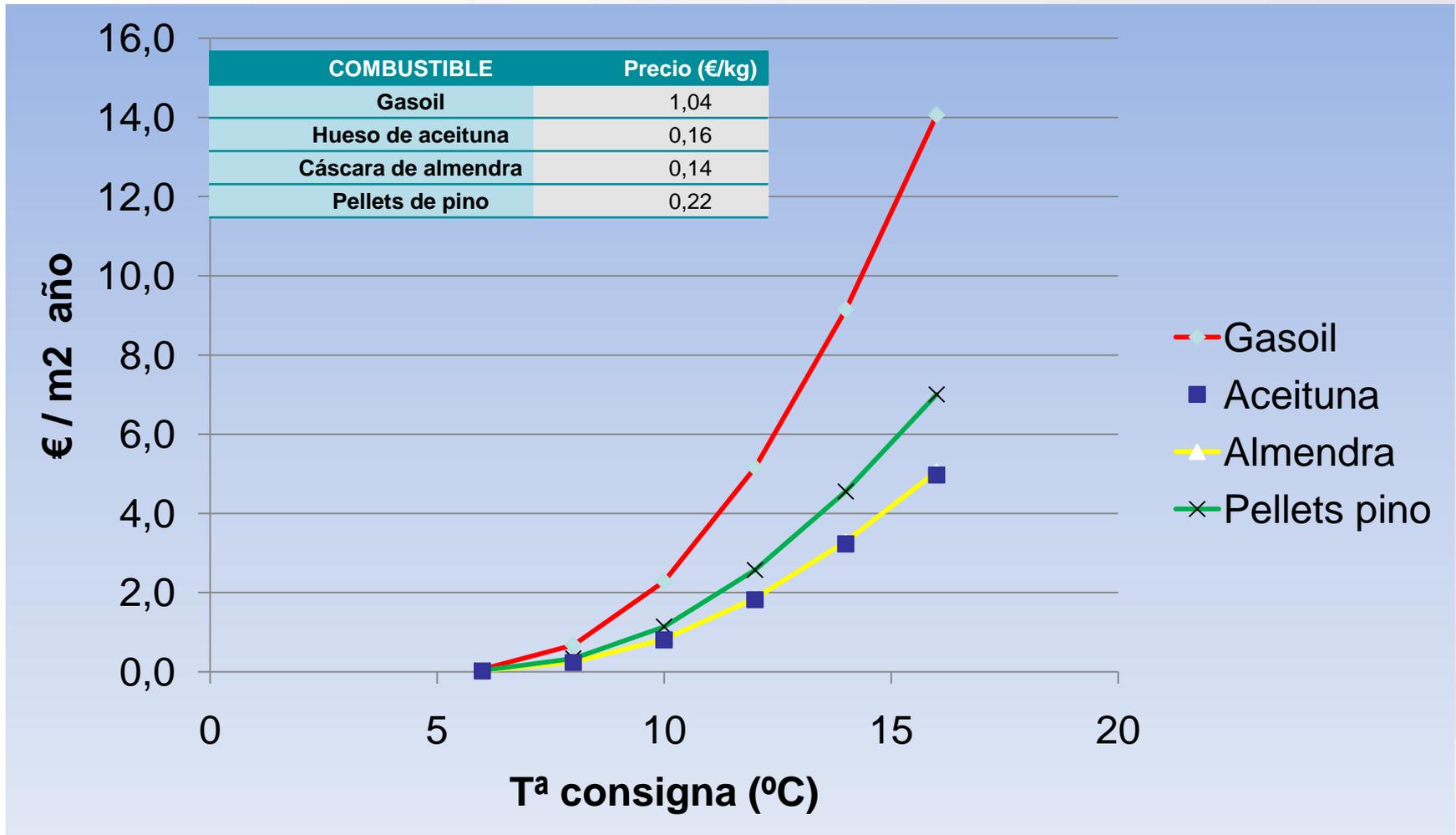
Se basa en la presión ejercida por una serie de rodillos (de 1 a 5) sobre los residuos situados sobre una matriz metálica dotada de orificios de calibre variable (0,5 a 2,5 cm.)



- 6-12 mm de diámetro
- 20-60 mm de longitud
- densidad 600 kg/m³



Gasto anual en calefacción del invernadero para diferentes combustibles a distintas temperaturas de consigna durante un año en El Ejido (2014)



Comparación de costes para los distintos sistemas de calefacción

Gasto anual de combustible (€/ha año)			
Tª (°C)	gasoil	hueso de aceituna	pellets
8	6700	1500	2600
10	22900	5000	8700
12	51600	11400	19700



Importante ajustar bien el rendimiento de las máquinas de biomasa, la limpieza y humedad del combustible.

BIOMASA		GASOIL	
Sup. (1 ha)		Sup. (1 ha)	
Tª (Δ 5°C)	Tª (Δ 10°C)	Tª (Δ 5°C)	Tª (Δ 10°C)

CARACTERÍSTICAS INSTALACIÓN

Nº de máquinas	3	6	3	6
Potencia por máquina (kw)	175KW	175KW	175KW	175KW

COSTE DE INVERSIÓN (€)

CALEF. AIRE CALIENTE	27000	54000	14000	24000
----------------------	-------	-------	-------	-------

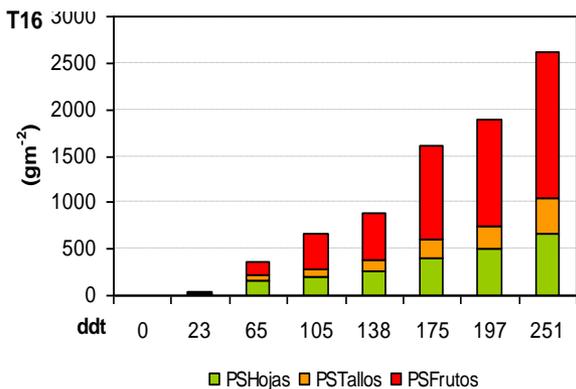
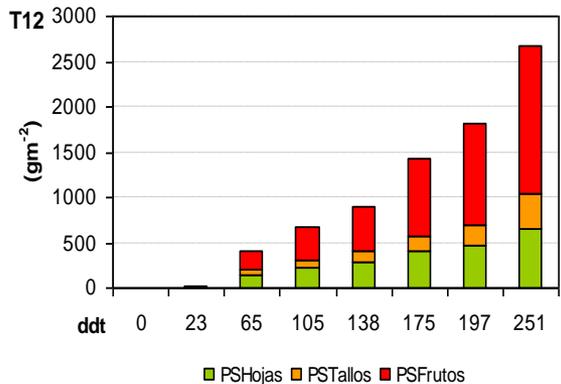
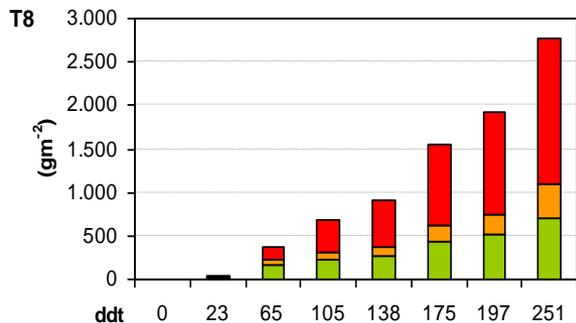
Sistemas pasivos de calefacción



- Material de cubierta

Material de cubierta	U (W m ⁻² pared °C ⁻¹)
Vidrio sencillo	6,0
Vidrio doble (9 mm de aire de separación)	4,2
PC doble (10mm de separación)	4,7
PC doble (16mm de separación)	4,2
<u>Film plástico (PE)</u>	<u>6,0</u>
Doble film plástico (PE)	4,2
Doble film plástico térmico + Pantalla térmica	2,5
Vidrio simple + Pantalla térmica (PVC,EVA,PE)	4,7
<u>Vidrio simple + Pantalla térmica (film aluminizado)</u>	<u>2,5</u>

Estrategias térmicas: según fenología del cultivo, Salto nocturno

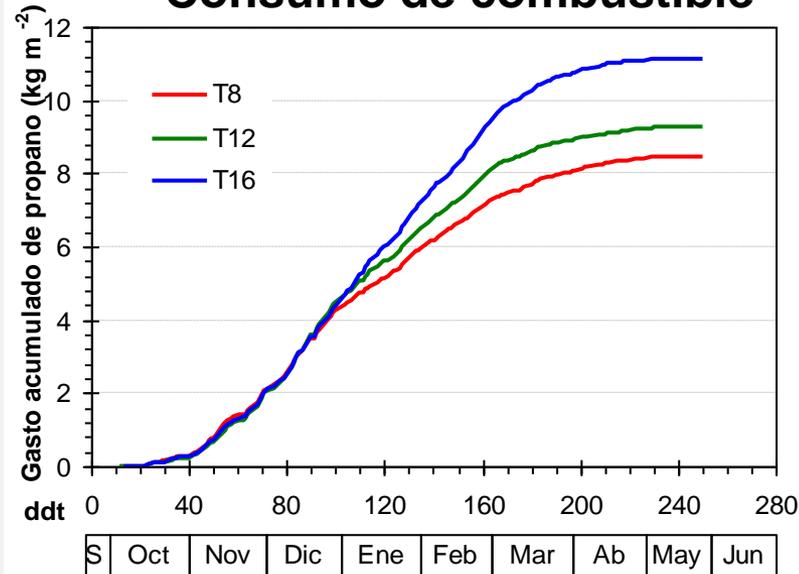


Producción acumulada para un cultivo de tomate

	Total	Comercial	1 ^a	2 ^a	Destrío
T8	23,4 a	22,3 a	21,7 a	0,6 b	1,1 a
T12	22,5 a	21,4 a	21,2 a	0,2 c	1,1 a
T16	22,6 a	21,7 a	21,3 a	0,4 bc	0,9 a
T8-S	20,6 b	19,5 b	19,2 b	0,3 c	1,1 a
T12-S	19,8 b	18,8 b	18,4 b	0,4 bc	1,0 a
T16-S	17,9 c	16,7 c	15,7 c	1,0 a	1,2 a

Reparto de materia seca de un cultivo de tomate en tres tratamientos térmicos (8,°12°,16°)

Consumo de combustible



Calefacción pasiva

- Incrementar el calor acumulado durante el día y reducir las pérdidas de calor durante la noche.
- Cortinas plásticas.
- Acolchados plásticos.
- Mantas térmicas.
- Tunelillos.

(F. Sola)



- Pantallas térmicas (móviles): aluminizadas; plástico o mixtas
- Dobles cubiertas (fijas)



Aumento de la temperatura mínima nocturna (2-3°C en doble techo cerrado y 1-2°C en doble techo abierto).

Mejoran la temperatura
Reducen el consumo de combustible



■ Ventajas (Usándolo bien)

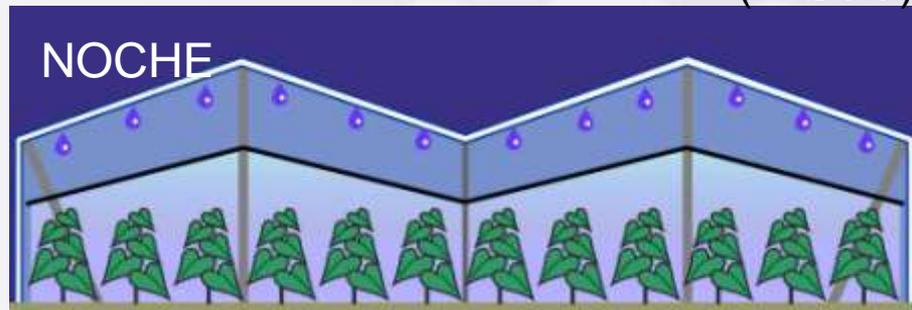
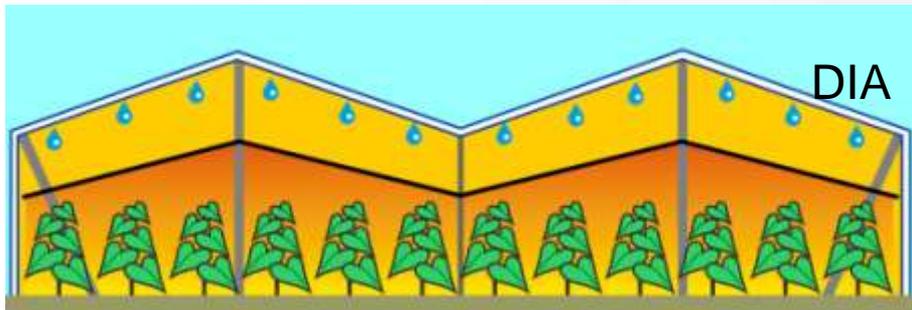
- Aumento de la temperatura mínima nocturna (2-3°C en dobletechos cerrados y 1-2°C en dobles techos abiertos).
- Reducción de las oscilaciones de temperatura y humedad relativa.
- Eliminación del goteo sobre el cultivo (muy importante en el control de enfermedades fúngicas y fisiopatías, y básico para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

■ Problemas (Usándolo mal)

- Golpes de calor a mediodía (en ciclos medios de pepino)
- Problemas fitosanitarios.
- Actividad de planta (malas condiciones de transpiración)

Lámina plástica que divide el invernadero en dos cámaras (coste: 0,12 a 0,15 €/m² -plástico y mano de obra- y 0,5 €/m² –alambres reutilizables-)

(F. Sola)



Materiales para doble techo

Manta térmica



Plástico térmico de 100-150 galgas



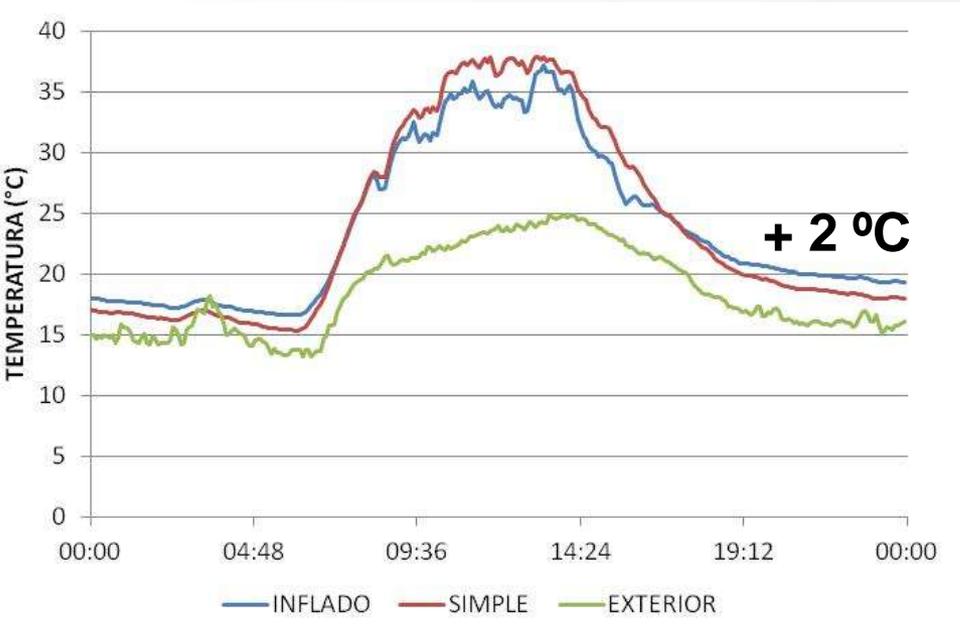
Plástico térmico antigoteo de 100-150 galgas



Plástico alta transparencia



Doble plástico inflado



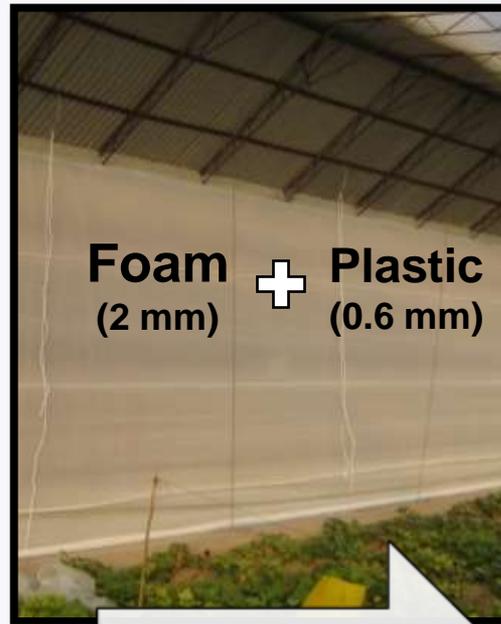
Invernadero en China



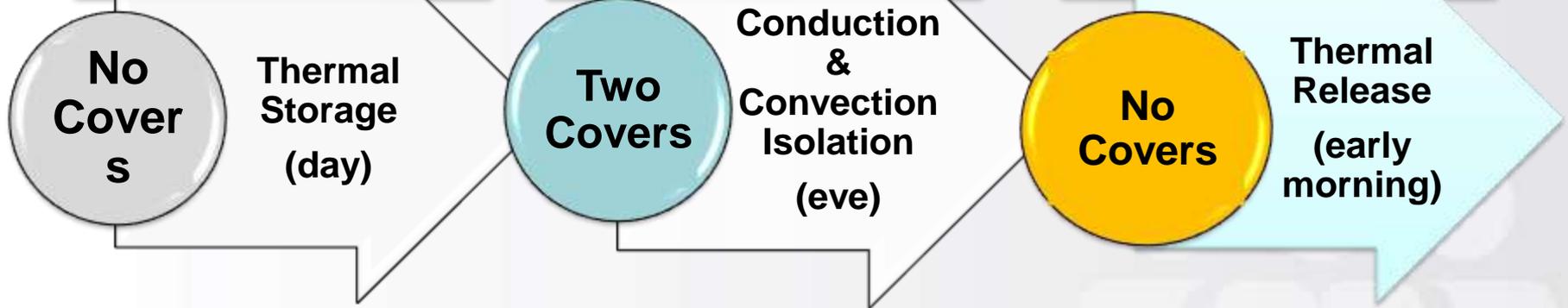
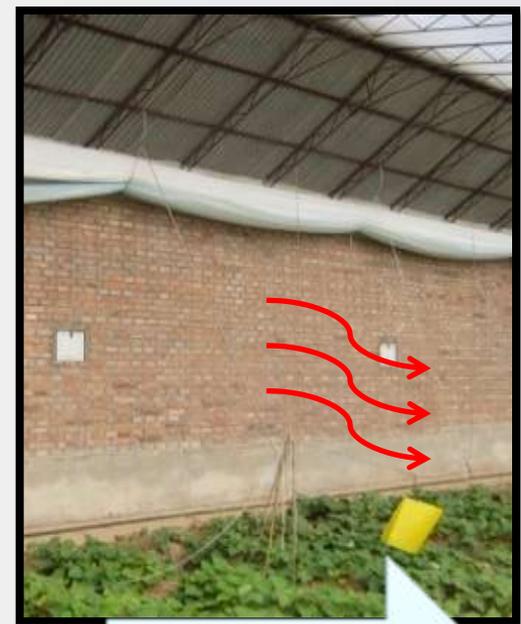
8 : 30 — 16 : 00



16 : 00 — 4 : 00



4 : 00 — 8 : 30



CONTROL PASIVO DE CLIMA EN CULTIVO DE PEPINO

Proyecto RTA 2012-00039-C02-02

“Mejora de la productividad y sostenibilidad ambiental de los invernaderos pasivos mediterráneos mediante el control del microclima en periodos fríos“

Objetivo: mejorar el microclima y la sostenibilidad económica y ambiental de los invernaderos pasivos mediterráneos durante los periodos fríos

Estación Experimental de la
Fundación Cajamar

Universidad de Almería

2 Tratamientos



Invernaderos multitúnel



- Convencional (F)**
- Doble techo fijo (37,5 μm)
 - Alta transparencia
 - Transmisión visible 94%
 - Difusión 15%
 - Termicidad 55%

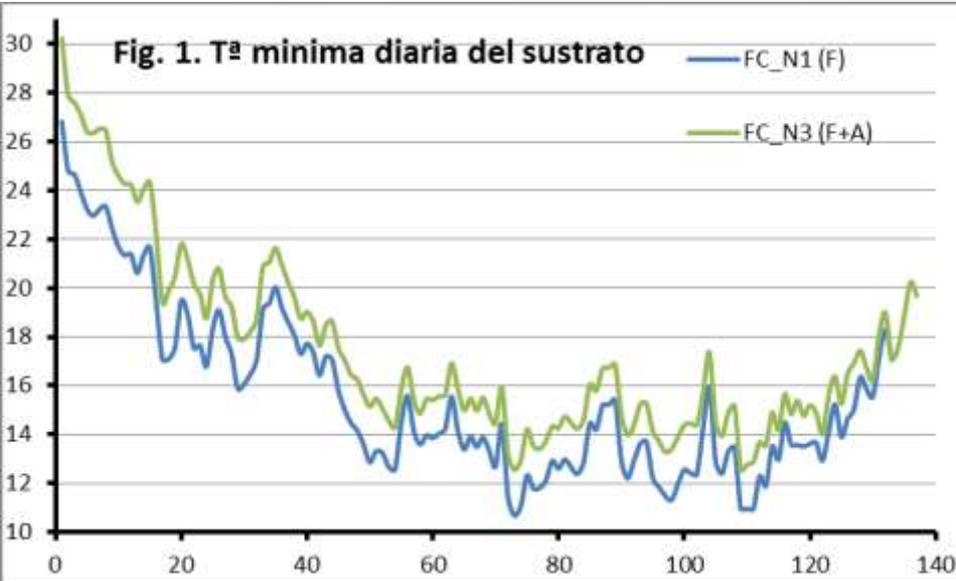
Pepino holandés cv. Valle

- Trasplante 16 Octubre 2014
- Fibra de coco (28 L)
- Orientación líneas N-S
- 1,7 m x 0,6 m
- 1 planta m^{-2}

Doble techo fijo + acolchado (F+A)

- Doble techo fijo (37,5 μm)
- Acolchado negro (25 μm)
 - Transmisión 1%
 - Absorción 95%
 - Reflexión 4%

F+A: acolchado plástico negro vs F: no acolchado (enarenado)

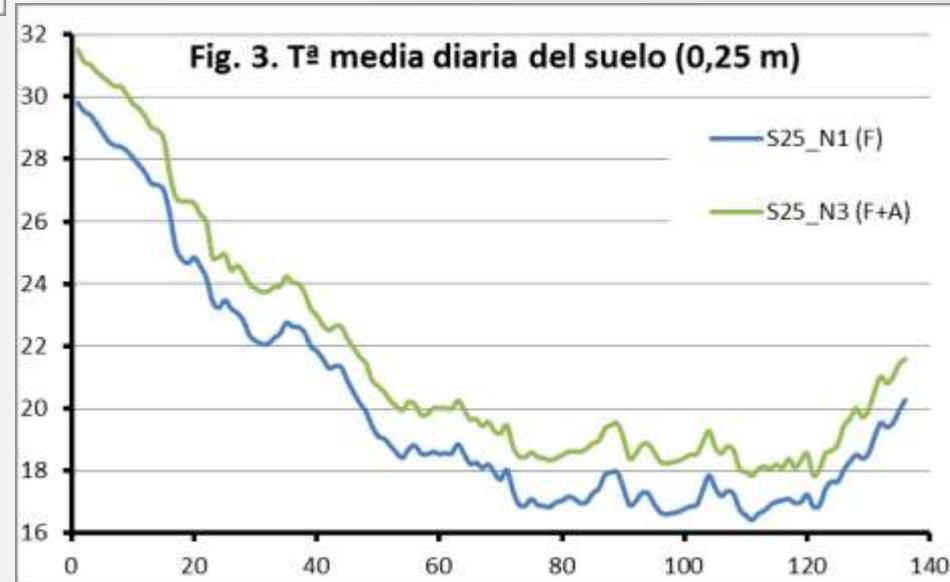


F 17,4 °C
F+A 19,1 °C
Dif.: + 1,7 °C

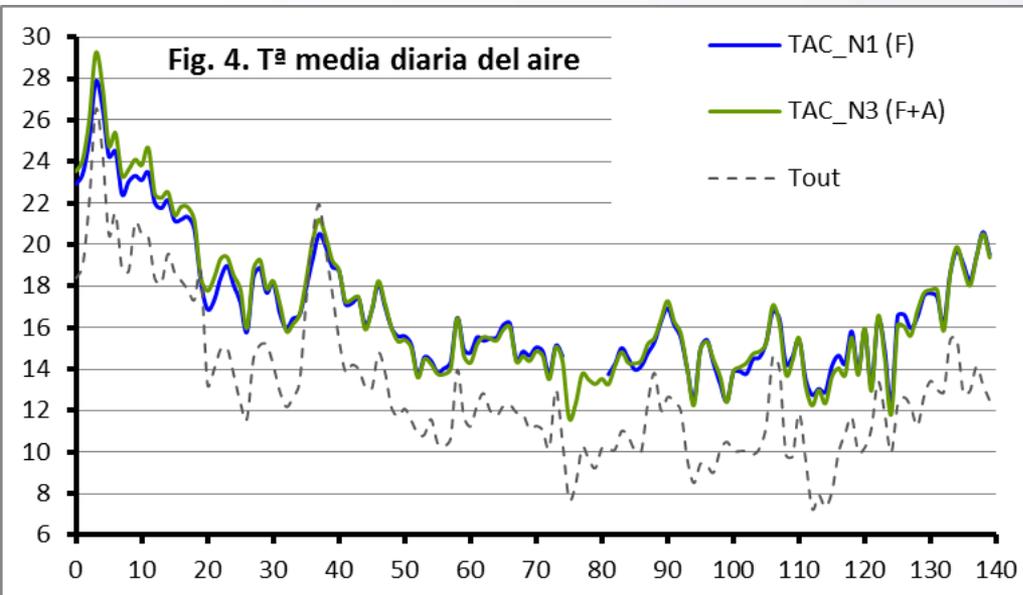
Temperatura SUSTRATO

F 20°C
F+A 21,5 °c
Dif.: + 1,5 °C

Temperatura SUELO



F+A: acolchado plástico negro vs F: no acolchado (enarenado)

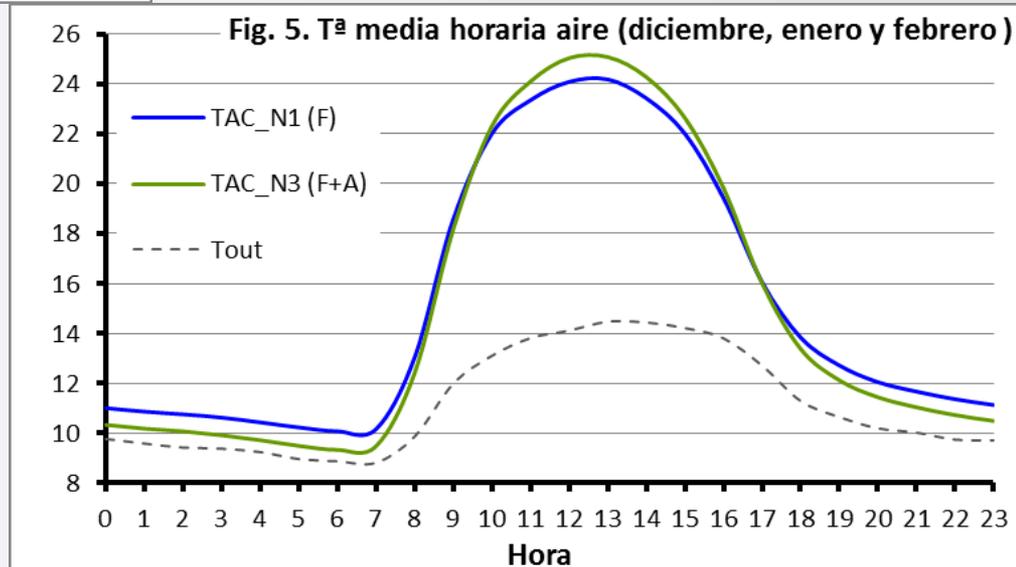


F 16,1 °C
F+A 15,9 °C

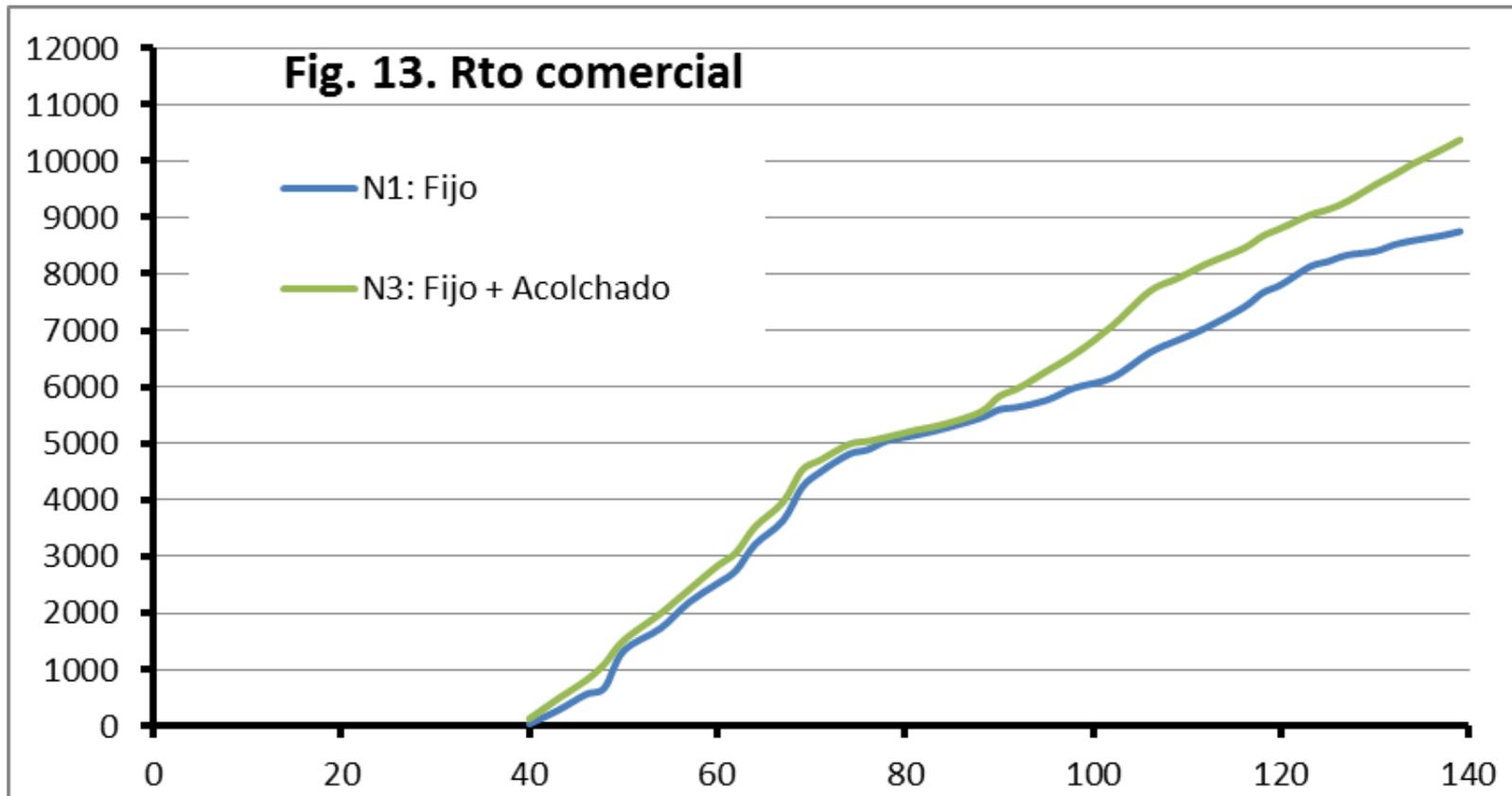
Temperatura AIRE horaria

Temperatura AIRE 24h

NOCHE - 0,7 °C
DIA + 0,3 °C



Productividad



10.4 a

8.7 b



Pantalla aluminizada móvil



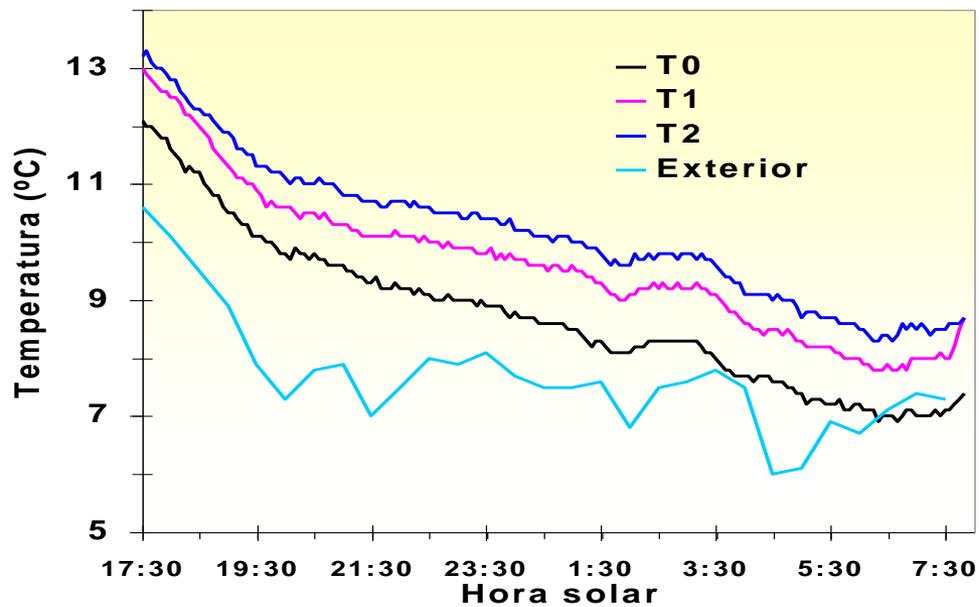
**Pantalla fija
(manta térmica fija)**



Testigo

TRATAMIENTOS:

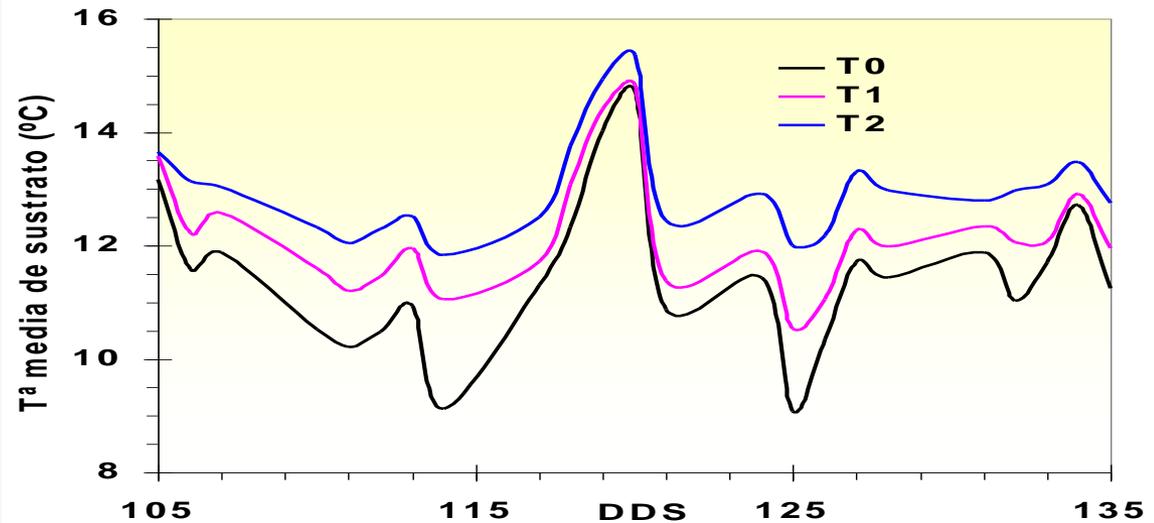
- **TO: Testigo**
- **T1: Pantalla fija formada por manta térmica de 17 g m⁻²**
- **T2: Pantalla aluminizada mixta (aluminio+plástico) móvil**



TRATAMIENTOS:

- T0: Testigo
- T1: Pantalla fija con manta térmica de 17 g m^{-2}
- T2: Pantalla aluminizada móvil

Evolución de la temperatura nocturna del aire durante la noche más fría del ciclo de cultivo (18-19 diciembre) para los distintos tratamientos.



Evolución de la temperatura, al amanecer, del sustrato frente a días desde siembra para los distintos tratamientos.

Radiación PAR

A lo largo del ciclo, el cultivo del tratamiento T1 (pantalla fija) recibió el 41 % de la radiación exterior. Mientras que los tratamientos donde no existía pantalla, bien por ser testigo (T0) o por ser móvil (T2), durante las horas de luz, la transmisividad media fue de 56 % y 54 %, respectivamente. De tal forma, el uso de la pantalla fija (T1) provocó unas pérdidas en transmisividad del orden del 15% respecto a T0

TRATAMIENTO	PRODUCCIÓN	PRODUCCIÓN	Nº FRUTOS	Nº FRUTOS
	TOTAL	COMERCIAL	TOTALES	COMERCIALES
	kg m ⁻²	kg m ⁻²	nº m ⁻²	nº m ⁻²
T0	7,1 b	6,7 b	24,6 b	19,3 b
T1	5,9 c	5,3 c	24,3 b	17,0 c
T2	8,4 a	7,6 a	29,1 a	22,3 a

TRATAMIENTOS:

- T0: Testigo
- T1: Pantalla fija formada por manta térmica de 17 g m⁻²
- T2: Pantalla aluminizada móvil



Muchas Gracias

