

IFAPA

## Jornadas sobre el control del clima en el invernadero

Almería 23-24 Febrero de 2016

### **Instalaciones para adecuar la concentración de CO<sub>2</sub> en el invernadero. Estrategias para mejorar la eficiencia del aporte de CO<sub>2</sub>**



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

M<sup>a</sup> Cruz Sánchez-Guerrero  
IFAPA La Mojonera

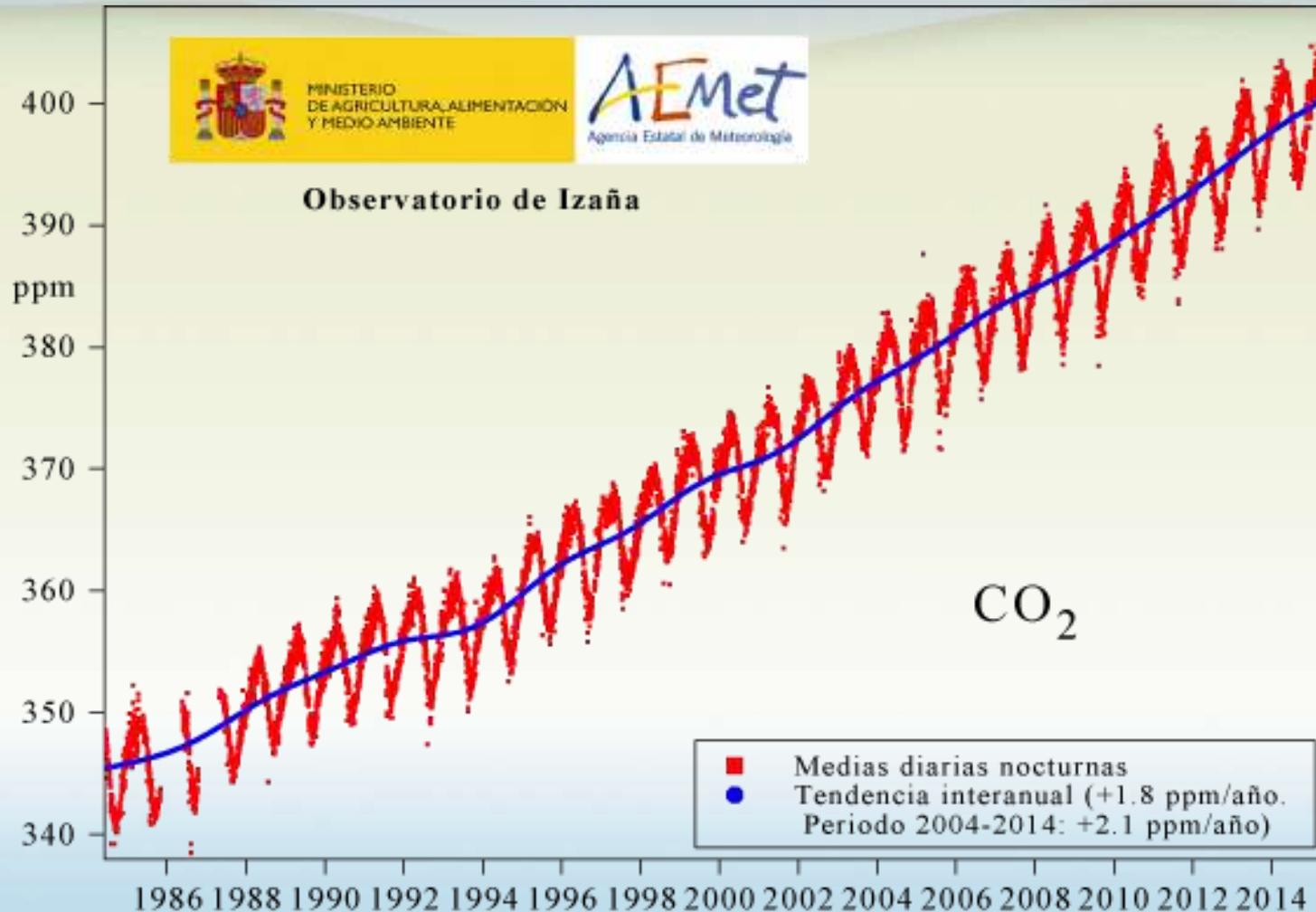
# Concentración de CO<sub>2</sub> en el aire

## Unidades de medida

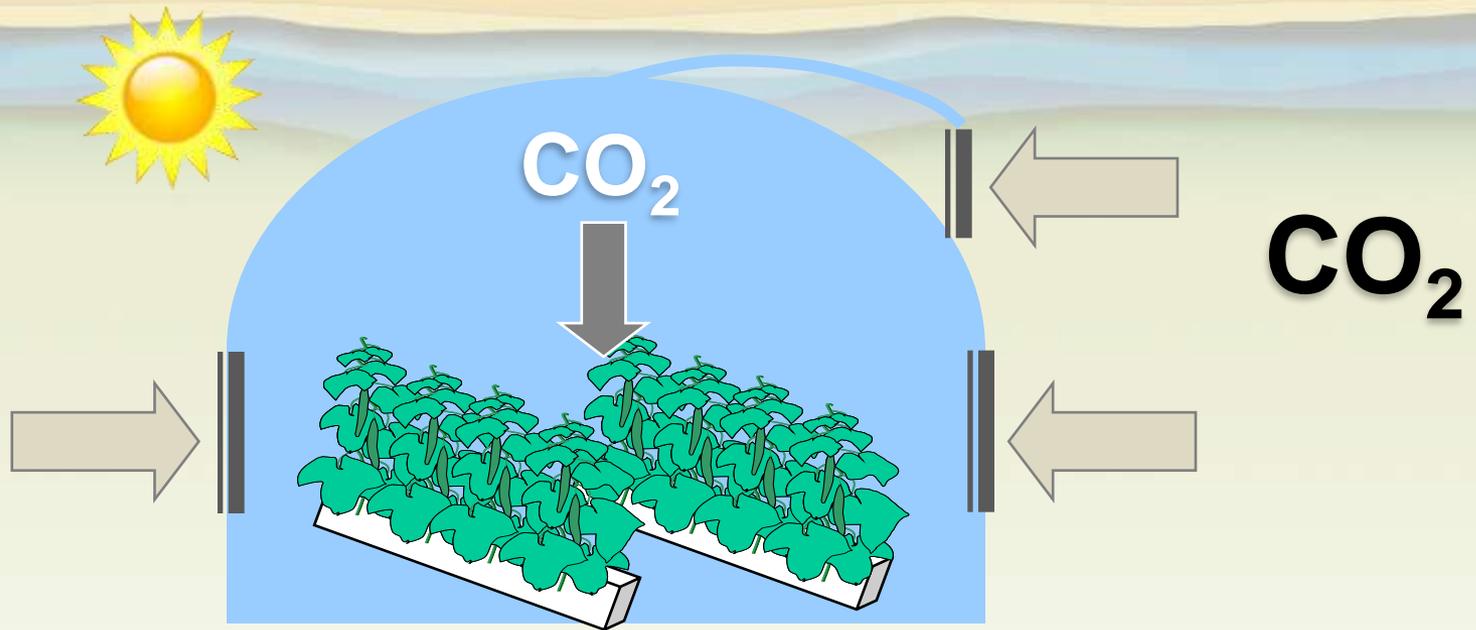
Dimensión	Unidad
Relación de CO <sub>2</sub> /aire, en volumen	1 vpm = 1 μL.L <sup>-1</sup> = 1 mL.m <sup>-3</sup> = 1 cm.m <sup>-3</sup> = 0,0001% (volumen)
Relación de CO <sub>2</sub> /aire, en moles	1 ppm = 1 μmol.mol <sup>-1</sup>
Relación de CO <sub>2</sub> /aire, en peso	1 mg.Kg <sup>-1</sup> = 0,0001% (peso)
Peso de CO <sub>2</sub> por volumen aire	1 mg.m <sup>-3</sup> = 1 μg.L <sup>-1</sup>
Peso de CO <sub>2</sub> por volumen aire	1 μmol.m <sup>-3</sup>
Presión parcial	1 Pa = 10 μbar

(Nederhoff, 1994)

# Concentración de CO<sub>2</sub> en el aire



# Concentración de $\text{CO}_2$ en Invernadero pasivo



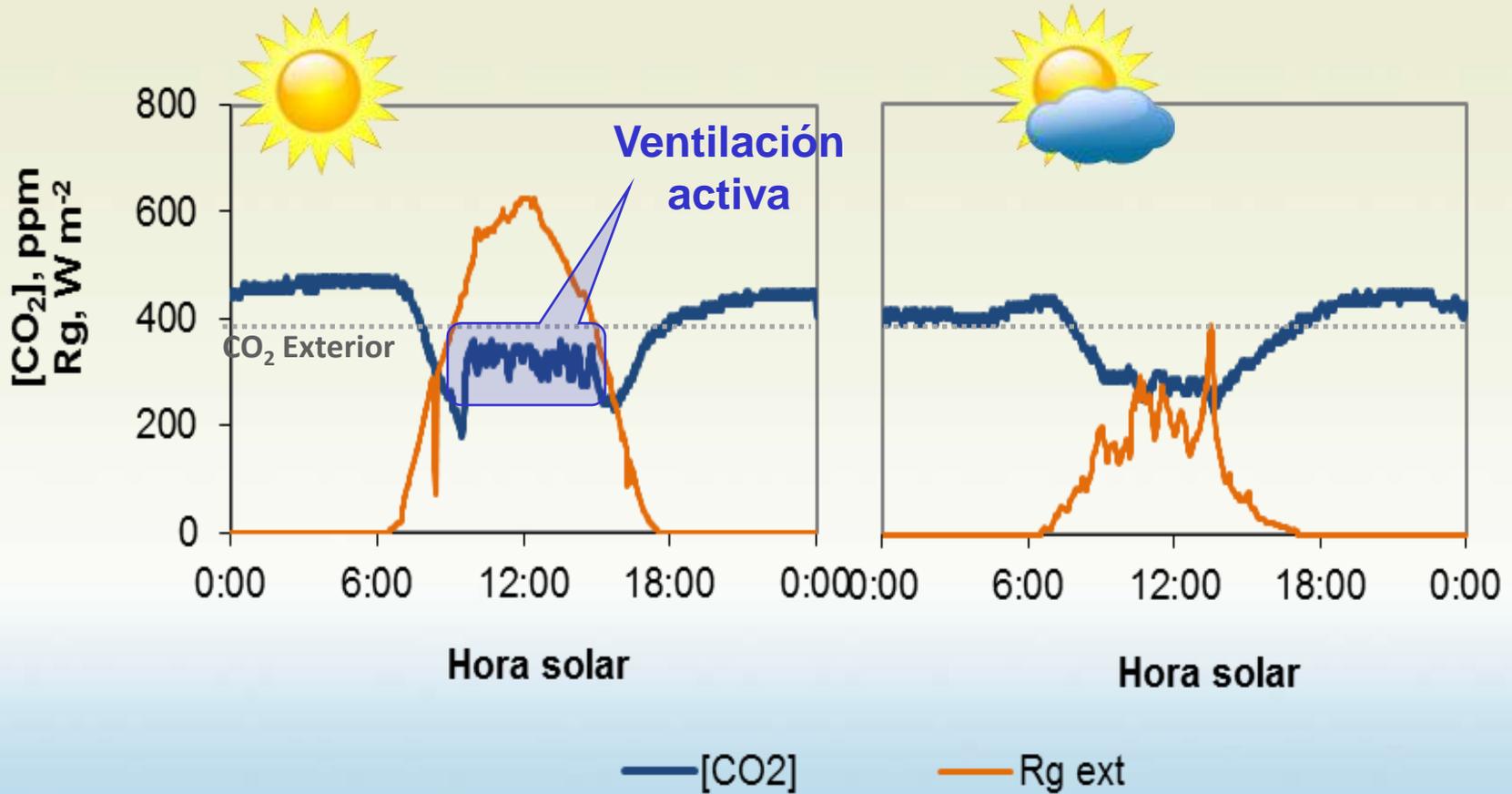
Consumo fotosintético  $>$  Renovación por ventilación  
↓  $[\text{CO}_2]$       ↓      ↑  $[\text{CO}_2]$

**AGOTAMIENTO DE  $\text{CO}_2$**

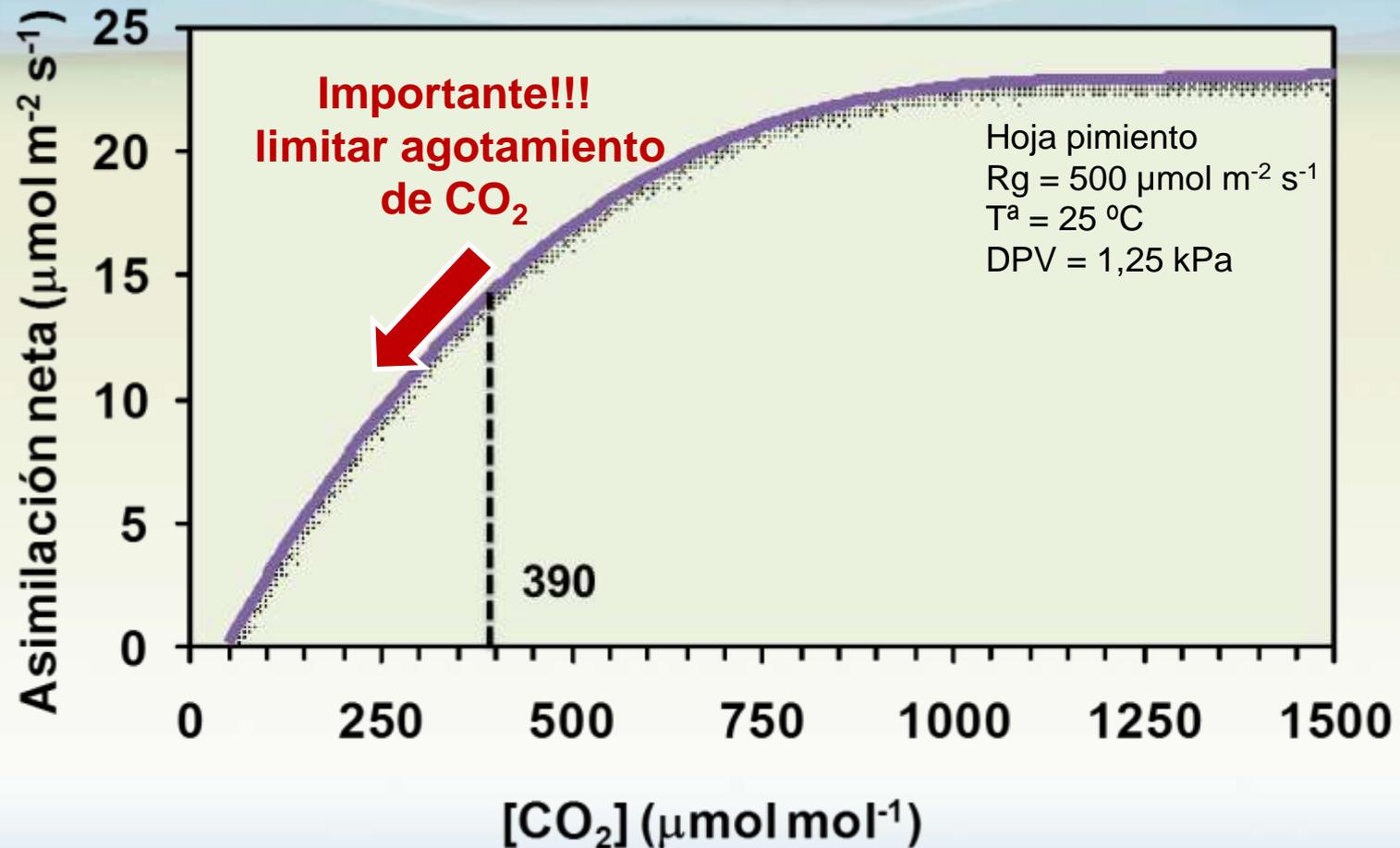
**Decremento de la concentración en el interior con respecto al nivel exterior**

# Concentración de CO<sub>2</sub> en Invernadero pasivo

Invernadero con  
Cultivo de Pimiento  
desarrollado



# Respuesta del cultivo al aumento de $[\text{CO}_2]$



La concentración óptima para el crecimiento y desarrollo de las especies hortícolas se ha establecido entre el rango de **700 - 1000  $\mu\text{mol mol}^{-1}$**

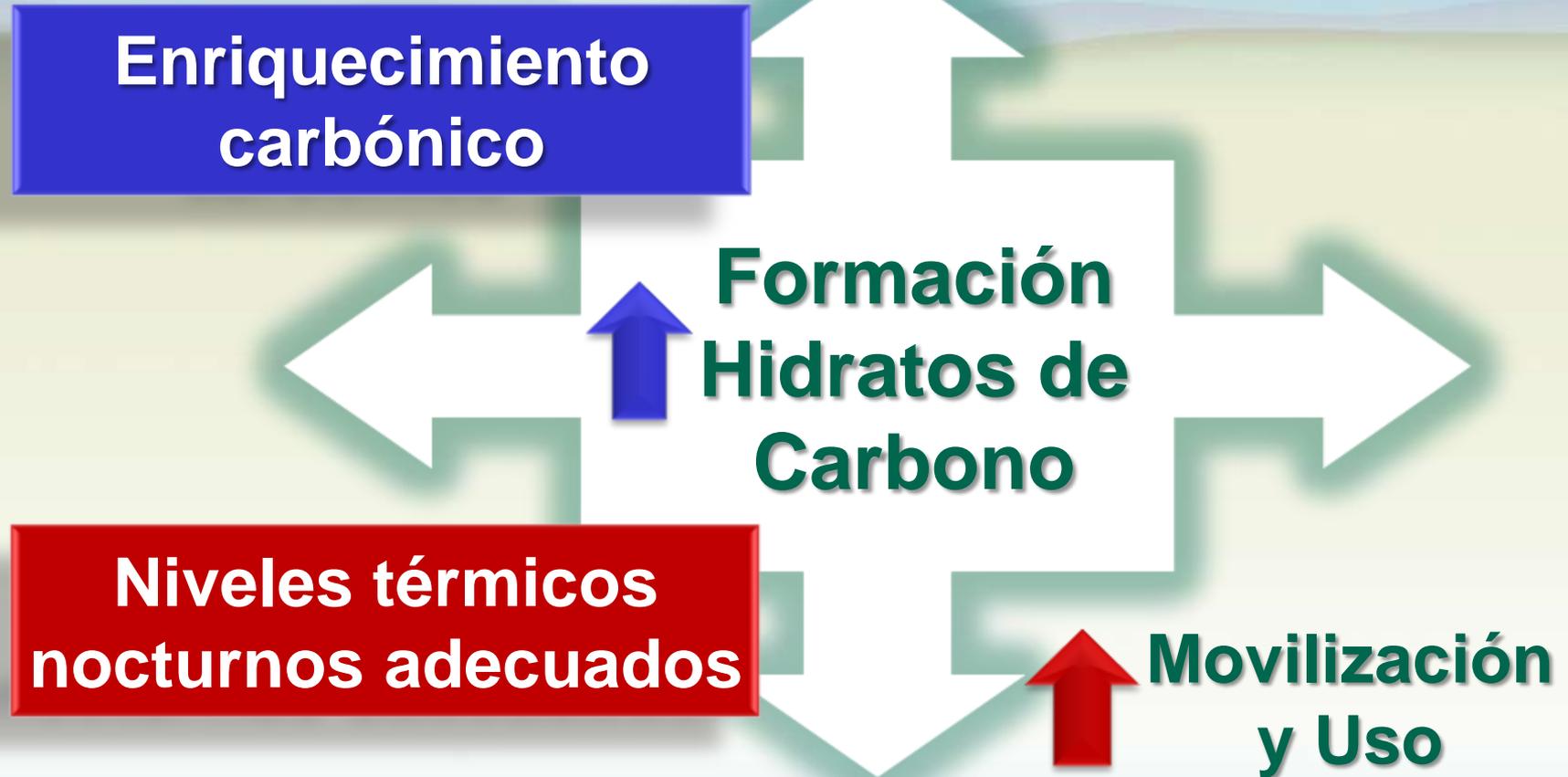
# Respuesta del cultivo al aumento de [CO<sub>2</sub>]



***Incrementos productivos descritos: 14 - 61%***

*Depende de:*

- Especie cultivada
- Técnica enriquecimiento: dosis y estrategia
- Condiciones cultivo
- Aclimatación



Efecto sinérgico del enriquecimiento carbónico y la mejora de la temperatura nocturna (Sánchez-Guerrero y col., 2000).

# Adecuación de la [CO<sub>2</sub>] en el invernadero

- **Ventilación**

≅ nivel exterior como máximo



- **Enriquecimiento carbónico**



Generalizado en países del Norte y Oeste de Europa, EEUU y Canadá

- **Objetivo principal:**

Evitar el agotamiento de CO<sub>2</sub>

- **Práctica habitual:**

Mantener nivel próximo al óptimo durante los periodos de iluminación.

- FUENTE
- DISTRIBUCIÓN
- CONTROL

## COMBUSTIÓN

### - Hidrocarburos



### - Biomasa



#### **Ventajas:**

- Puede ser un subproducto obtenido del sistema de calefacción
- Relativamente económico

#### **Inconvenientes:**

- Riesgo de aplicación de fitotóxicos
- Desacoplamiento de los requerimientos de calor y CO<sub>2</sub>

Desarrollo de sistemas de extracción y almacenamiento del CO<sub>2</sub> de gases de combustión (Acién, G. 2014. Seminario calefacción invernaderos, Cajamar)



## CO<sub>2</sub> PURO



#### **Ventajas:**

- Pureza
- Desvinculación del calor

#### **Inconveniente:**

- Precio

# Enriquecimiento de CO<sub>2</sub>: DISTRIBUCIÓN

Importante evitar gradiente horizontal de concentración!!! ya que disminuye la homogeneidad del crecimiento de las plantas y la producción del cultivo.

El movimiento del CO<sub>2</sub> en el invernadero por difusión (gradiente de concentración) es muy lento y depende principalmente del movimiento del aire.



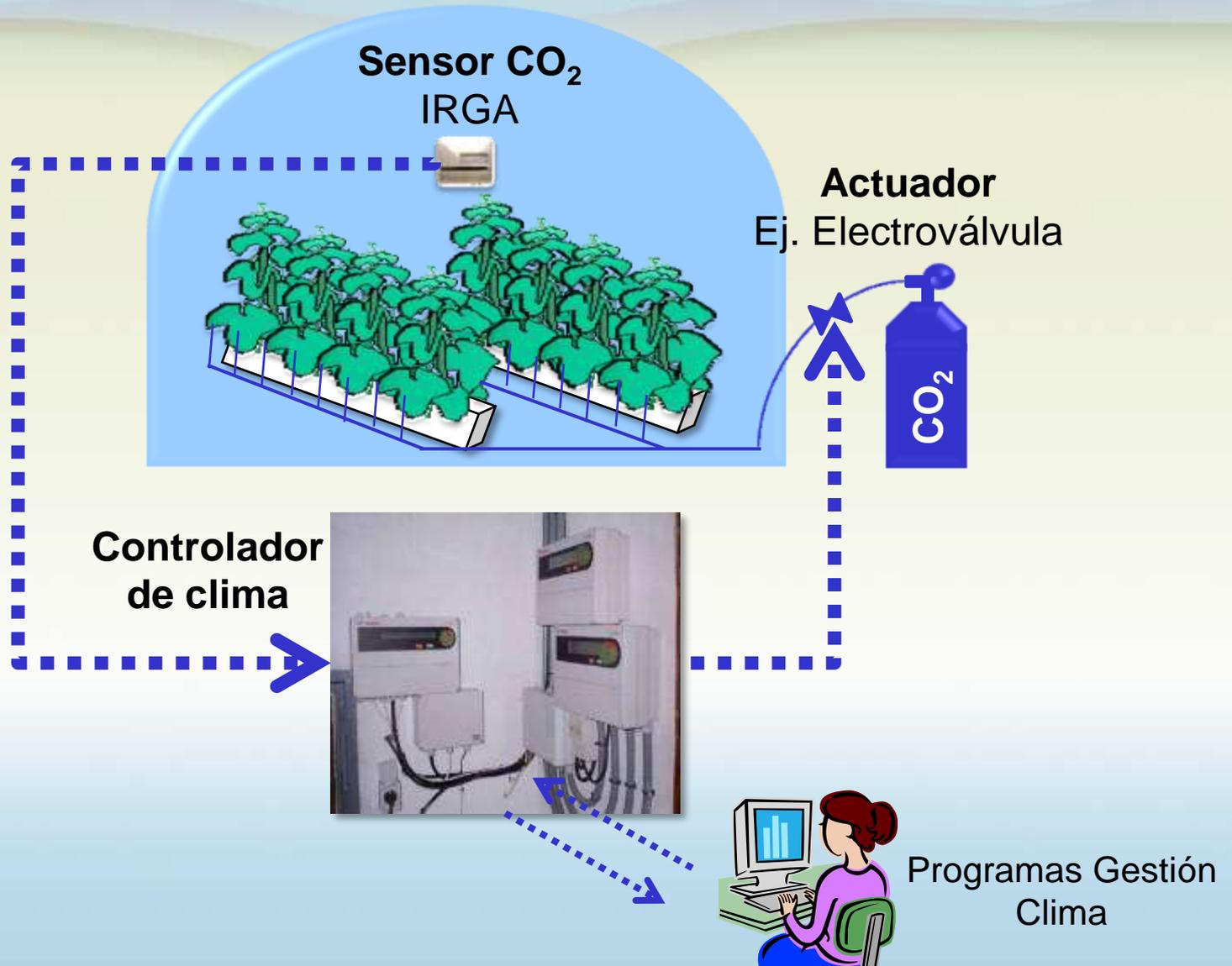
El uso de ventiladores permite mover grandes volúmenes de aire en el invernadero

## Adecuado sistema de distribución del CO<sub>2</sub>

Uso generalizado de sistemas formados por pequeños tubos (con orificios espaciados) situados en la zona baja del cultivo.

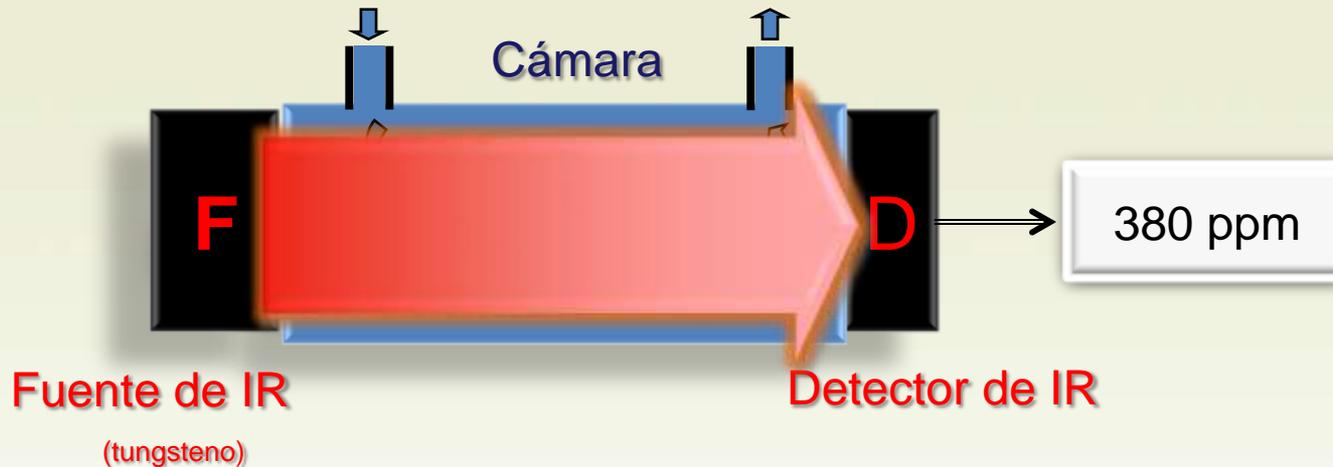


# Enriquecimiento de CO<sub>2</sub>: CONTROL



## Sensor de CO<sub>2</sub> : Analizador de gas por infrarrojo (IRGA)

### Componentes básicos



Mide la absorción de IR, proporcional al número de moléculas de CO<sub>2</sub> al paso de la radiación.

Fundamental la adecuada calibración sensor

**Si lectura [CO<sub>2</sub>] < Real → Aumento del gasto de CO<sub>2</sub> por:**

- Mayor aporte para mantener niveles superiores al consigna
- Mayor escape al exterior ( > gradiente interior-exterior )



# Enriquecimiento de CO<sub>2</sub>: CONTROL

## ▪ Tasa / concentración constante

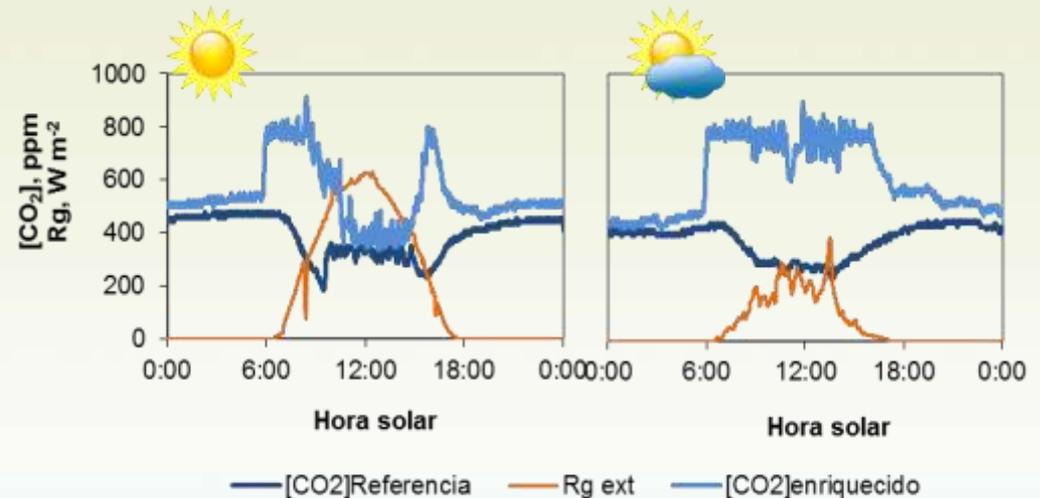
Tasa Constante (Ej. 4,5 g.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>): **Genera variación de [CO<sub>2</sub>] a lo largo del día. Exceso (pérdidas por ventilación) o Déficit**

Concentración Constante: **Dificultad para mantener niveles elevados cuando opera la ventilación.**

## ▪ Concentración variable (Ej.: Según ventilación)

Interés agrícola de la estrategia de enriquecimiento carbónico variable en la producción de invernadero en condiciones mediterráneas (Sánchez-Guerrero y col., 2005):

<u>V. Cerradas</u> 800 μmol mol <sup>-1</sup>
<u>V. Abiertas</u> 380 μmol mol <sup>-1</sup>



## ▪ Optimización dinámica

Se basa en obtener la **MAYOR SALIDA** (producción) con la **MENOR ENTRADA** (CO<sub>2</sub>)

Estimación de producción y coste:

Aspectos Biológicos: Fotosíntesis, tasa producción..

Aspectos Físicos: Ventilación, transmisión de luz.....

Aspectos Comerciales: Precio del CO<sub>2</sub> y del producto.....

# Resultados experimentales en condiciones mediterráneas

## Enriquecimiento carbónico ligado a la ventilación (ciclo otoño-invierno)

### Incrementos productivos ( $\Delta P$ )

Cultivo	Tipo invernadero	Calefacción CO <sub>2</sub> /Testigo	[CO <sub>2</sub> ] <sub>máx</sub> (μmol mol <sup>-1</sup> )	$\Delta P$ (%) CO <sub>2</sub>
Pepino otoño	Multitúnel	No/No	700	<b>+17</b>
Pepino otoño	Parral mejorado	Si/Si	600	<b>+26</b>
Pepino otoño	Parral mejorado	Si/No	600	<b>+56</b>
Judía otoño	Parral	No/No	600	<b>+17</b>
Pimiento otoño	Multitúnel	Si/Si	750	<b>+19</b>

Sánchez-Guerrero y col. (2010)

### Interacción con la salinidad de la solución nutritiva

Cultivo	Tipo invernadero	Calefacción CO <sub>2</sub> /Testigo	[CO <sub>2</sub> ] <sub>máx</sub> (μmol mol <sup>-1</sup> )	$\Delta P$ (%)	
				CE <sub>SN</sub> (7vs5 dS.m <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub>
Tomate tipo RAF	Multitúnel	Si/Si	800	<b>-31</b>	<b>+13</b>

El enriquecimiento carbónico mitigó el efecto nocivo de la salinidad, en parte debido a su efecto positivo sobre el número de frutos (Sánchez-González y col., en prensa).

# Resultados experimentales en condiciones mediterráneas

## Incrementos de la eficiencia en el uso del agua

Se han obtenido incrementos de EUA en cultivos enriquecidos respecto a los testigos de hasta un **41%** en pepino y algo menor (**19** y **27%**) en pimiento.

Cultivo	[CO <sub>2</sub> ] <sub>máx</sub> (μmol mol <sup>-1</sup> )	EUA (g L <sup>-1</sup> )		Δ (%)
		Testigo	Enriquecido	
Pepino otoño	700	48,1	67,8	41
Pepino otoño	700	43,0	60,0	40
Pimiento otoño	750	17,8	21,1	19
Pimiento otoño	800	16,6	21,0	27

Sánchez-Guerrero y col. (2010)

# Estrategias para mejorar la eficiencia del aporte de CO<sub>2</sub>



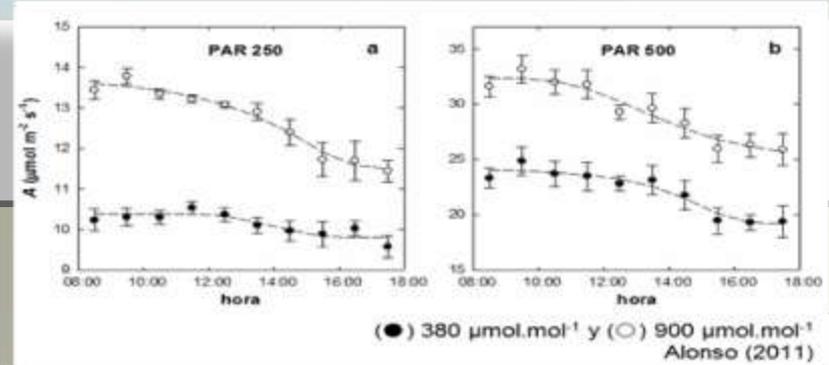
Estudios realizados en cultivo de pimiento

## ✓ Acotar periodo de aplicación

¿Enriquecer durante todo el periodo diurno?

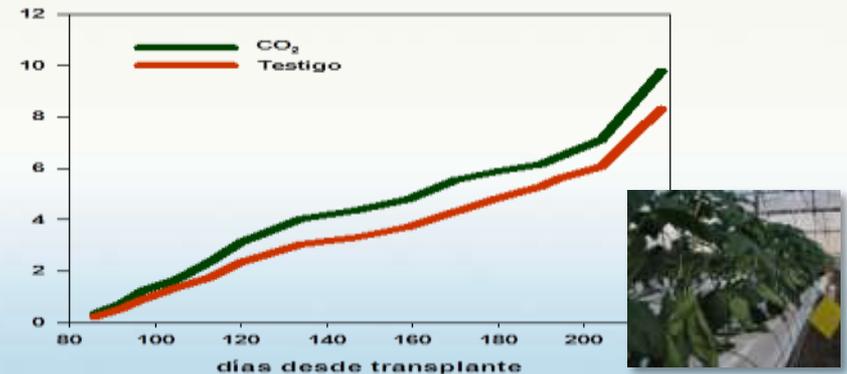
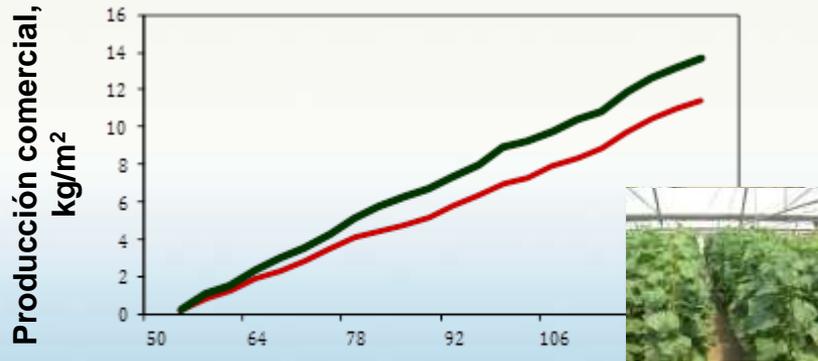
Recomendación:

Limitar el aporte de CO<sub>2</sub> por la tarde (P.ej. Finalizar 75' antes del ocaso)



Reducción de la eficiencia fotosintética por la tarde (acumulación de fotoasimilados).

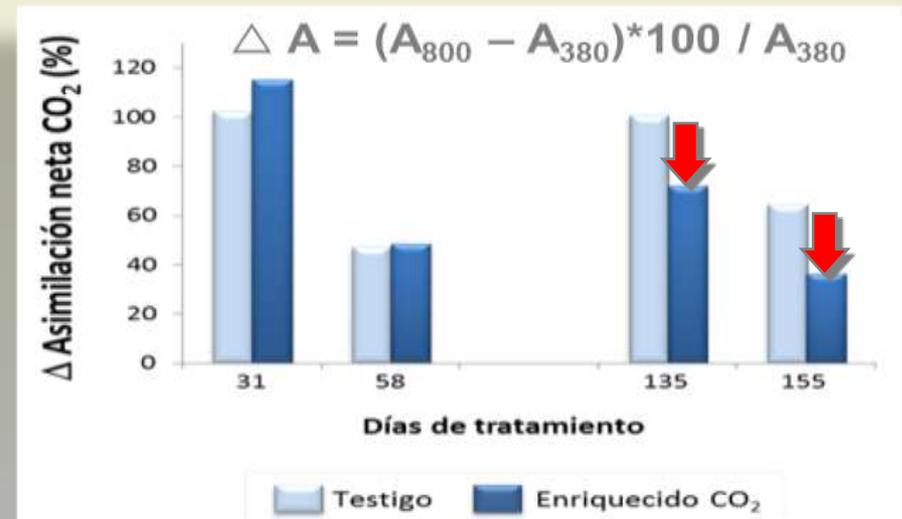
¿Enriquecer durante todo el cultivo?



Pérdida incremento relativo en producción de fruto  
**Posible aclimatación fotosintética a alto CO<sub>2</sub>**

## Mejorar la eficiencia del aporte de CO<sub>2</sub>

Detección del proceso de **aclimatación fotosintética** al enriquecimiento variable de [CO<sub>2</sub>] en cultivo de pimiento



Interés del estudio de la respuesta del cultivo enriquecido con CO<sub>2</sub> frente al cese de la aplicación tras la aclimatación.

# Mejorar la eficiencia del aporte de CO<sub>2</sub>

Estrategia CO<sub>2</sub>  
Ciclo Parcial

Estrategia CO<sub>2</sub>  
Ciclo completo

→ Invernadero enriquecido todo el ciclo  
→ Invernadero enriquecido hasta aclimatación  
(130 días de aplicación)

Estrategia aporte CO <sub>2</sub>	Prod. Total (Kg m <sup>-2</sup> )	Prod. Comercial (Kg m <sup>-2</sup> )	Gasto CO <sub>2</sub> (Kg m <sup>-2</sup> )
Ciclo Completo	10,0	9,7	7,05
Ciclo Parcial	10,0	9,8	4,81
	ns	ns	- 2,24 Kg m <sup>-2</sup>

NO afectó significativamente a la producción final de pimiento, mientras que supuso una **DISMINUCIÓN** notable del aporte total de CO<sub>2</sub>

## ✓ Mitigar la aclimatación del cultivo a alto CO<sub>2</sub>

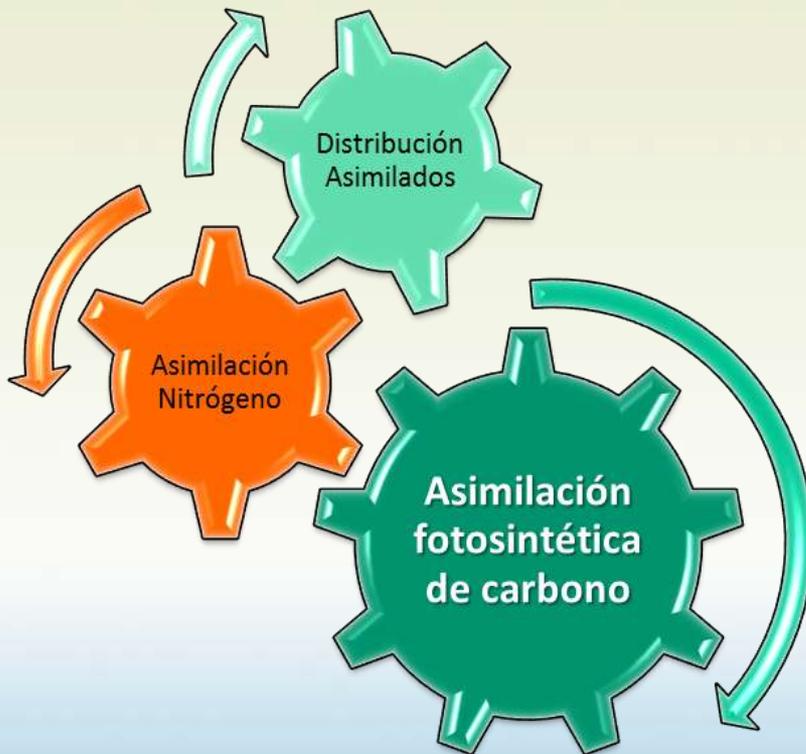
### Algunas posibles causas

- Limitación nitrogenada por reducción de la asimilación de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (relación con inhibición de la fotorrespiración a alto CO<sub>2</sub>; no afecta a la asimilación de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

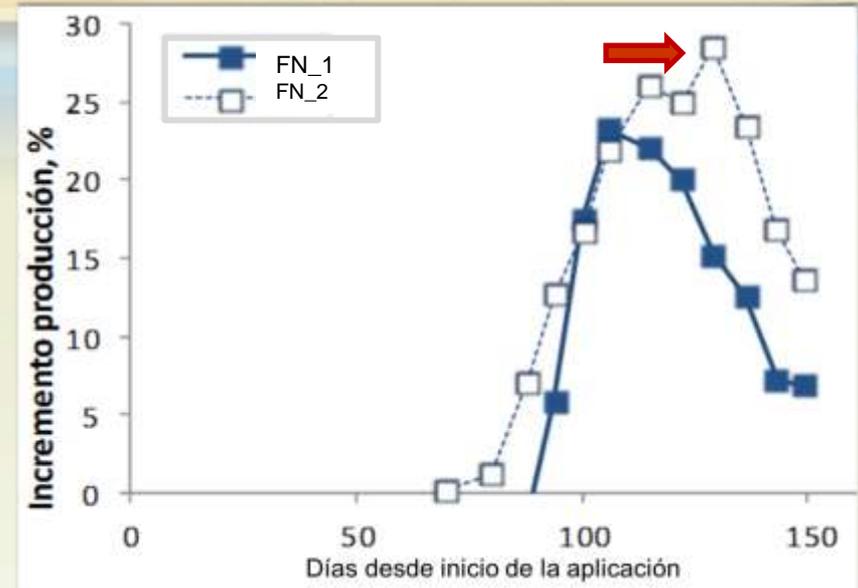
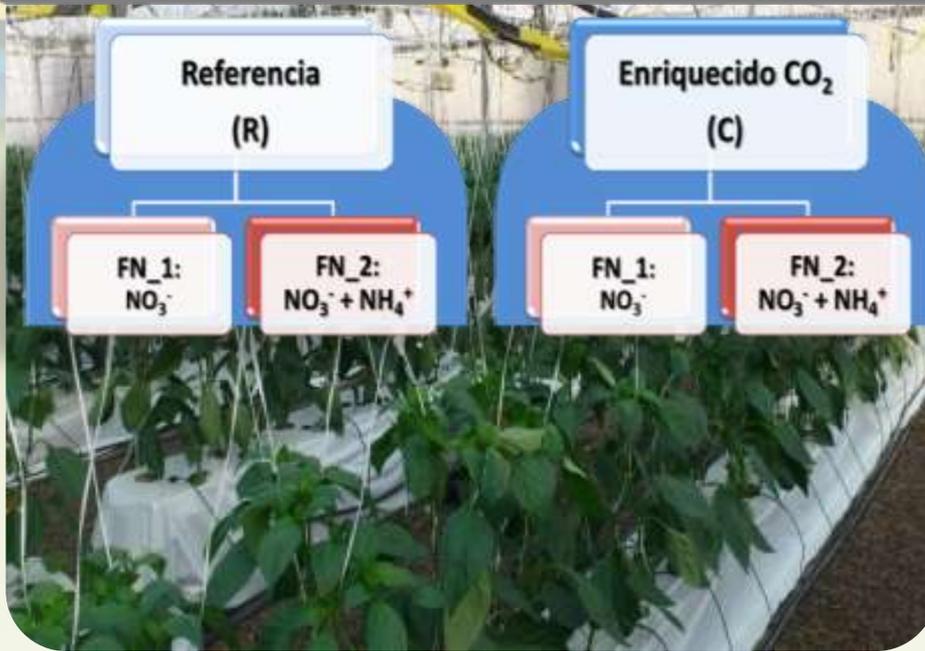
¿Modificar fertilización nitrogenada ?

- Acumulación de asimilados en hojas (por limitación de potencia de sumidero)

¿Modificar criterio poda ?



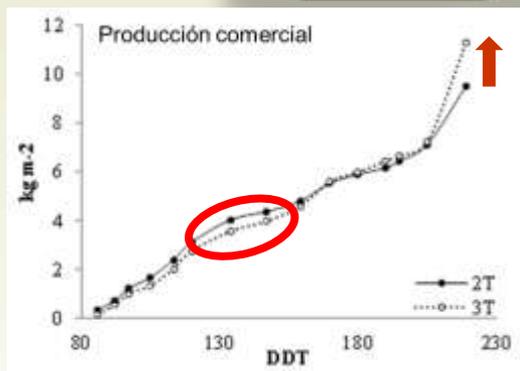
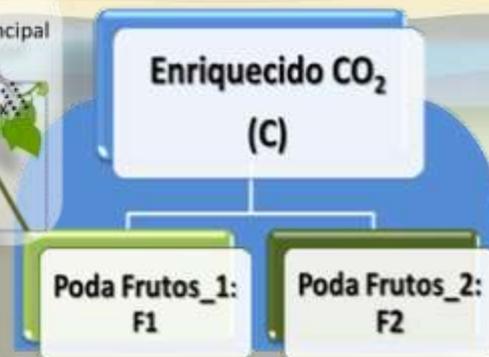
# Mejorar la eficiencia del aporte de CO<sub>2</sub>



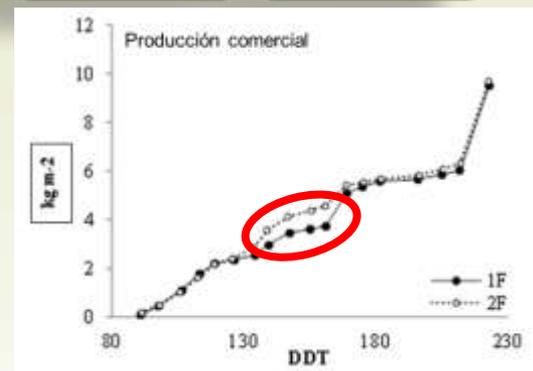
Producción 175 DDA	Referencia, R		Enriquecido, C		C	FN	C*FN
	FN_1	FN_2	FN_1	FN_2			
Total (Kg.m <sup>-2</sup> )	6,1	6,9	7,5	8,1	*	*	n.s.
Comercial, (Kg.m <sup>-2</sup> )	6,0	6,3	7,4	7,5	*	n.s.	n.s.
B.E.R. (%)	1,3	8,0	0,4	6,9	n.s.	*	n.s.

En cultivo con enriquecimiento carbónico, el uso de amonio en la fertilización nitrogenada generó ventajas en la producción total, si bien los resultados indican la necesidad de evaluar otras estrategias de aplicación.

# Mejorar la eficiencia del aporte de CO<sub>2</sub>



**Producción precoz:** Mejoró con la mayor poda de tallos (2T vs 3T) y la menor poda de frutos (2F vs 1F).



Poda	Producción (Kg m <sup>-2</sup> )		Nº Frutos (Frutos m <sup>-2</sup> )		Peso Medio Fruto (g)	
	Total	Comercial	Total	Comercial	Total	Comercial
2T	10,2	9,8	43,9	41,2	232,8	237,4
3T	10,9	10,5	46,6	44,3	233,9	237,7
	*	*	*	*	ns	ns
1F	9,6	9,5	37,8	37,1	254,3	255,3
2F	10,0	9,7	43	41,3	231,7	234,6
	ns	ns	*	*	*	*

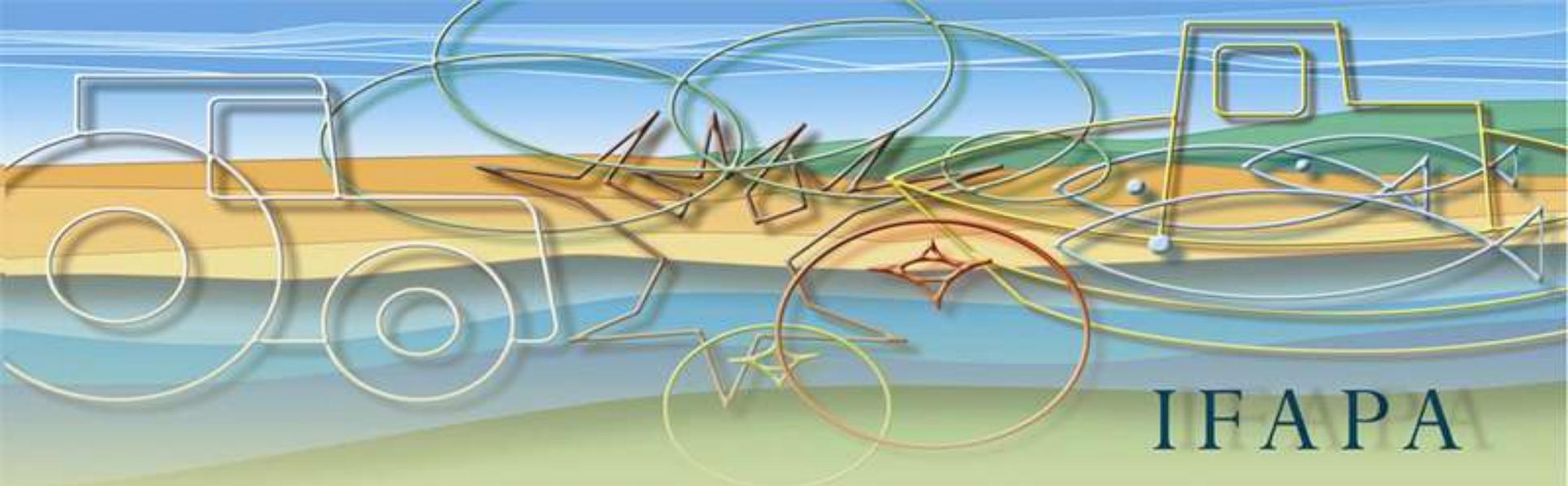
**Producción final:** Aumentó con la menor poda de tallos (3T vs 2T). No efecto de poda de frutos.

# RESUMEN

- La  $[CO_2]$  del aire de los invernaderos adquiere valores inferiores al atmosférico y este agotamiento es limitante para la productividad potencial de los cultivos hortícolas.
- La aplicación de enriquecimiento carbónico en condiciones mediterráneas, de acuerdo a una estrategia vinculada a la ventilación, es un método interesante para mejorar la productividad y la eficiencia del uso del agua.
- La eficiencia del aporte de  $CO_2$  es susceptible de ser mejorada tanto a nivel de la técnica (acotar periodo de aplicación) como mediante prácticas de cultivo que incidan sobre el proceso de aclimatación fotosintética.

# RESUMEN

- El cese del enriquecimiento carbónico en la última fase del periodo productivo (cuando el cultivo muestra aclimatación) permite un ahorro en el gasto de  $\text{CO}_2$  sin derivar en mermas productivas, mejorando así la eficiencia de la técnica.
- Cambios en la fertilización nitrogenada pueden mejorar la respuesta del cultivo al enriquecimiento carbónico. El uso de una pequeña fracción del mismo como amonio se muestra como posible estrategia, aunque requiere más estudio.
- En pimiento el aumento de número de tallos se muestra más eficiente que la poda de frutos en la adecuación de la relación/fuente sumidero de asimilados en atmósfera enriquecida con  $\text{CO}_2$ .



IFAPA

**Gracias por su atención**

**IFAPA La Mojonera**

[mariac.sanchezguerrero@juntadeandalucia.es](mailto:mariac.sanchezguerrero@juntadeandalucia.es)



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