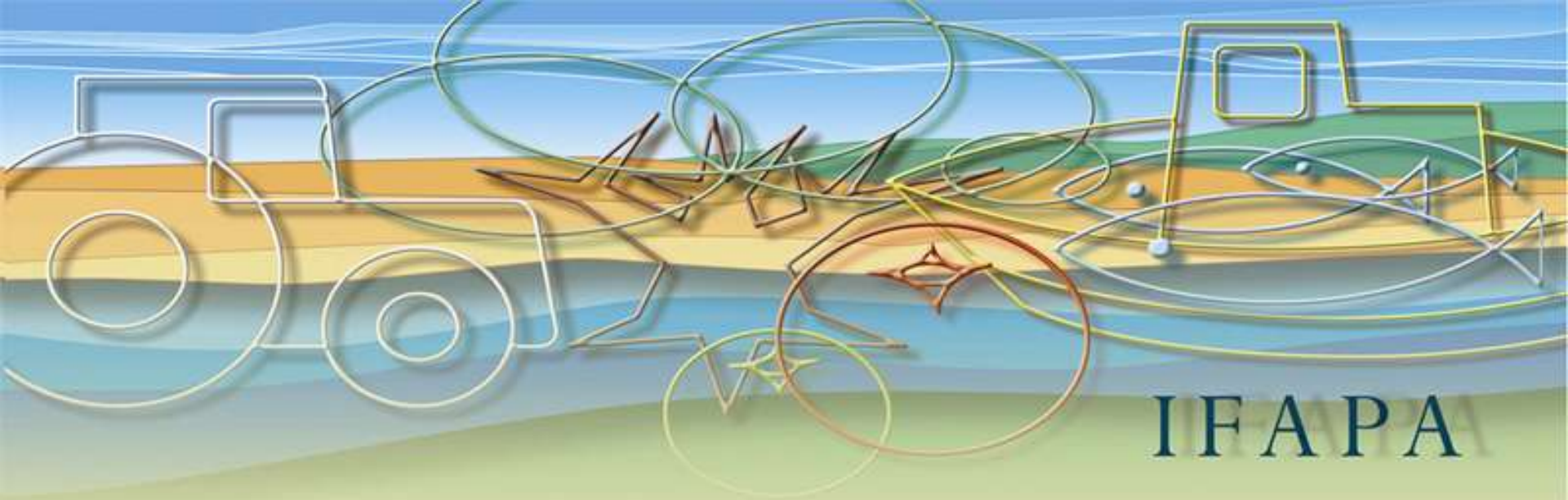




Jornadas sobre el control del clima en el invernadero

Almería 23-24 Febrero de 2016

Instalaciones para adecuar la concentración de CO₂ en el invernadero. Estrategias para mejorar la eficiencia del aporte de CO₂



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

M^a Cruz Sánchez-Guerrero
IFAPA La Mojonera

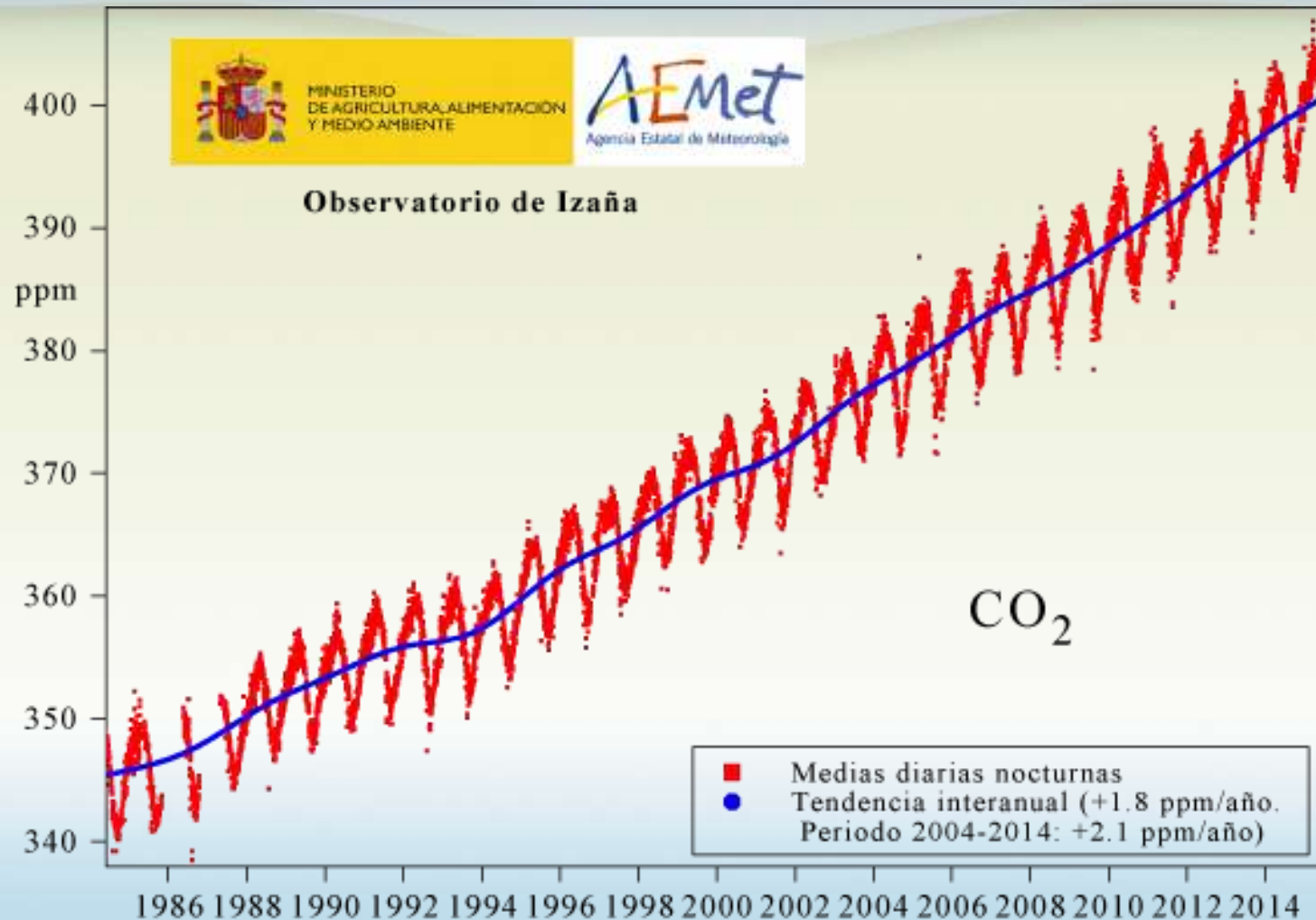
Concentración de CO₂ en el aire

Unidades de medida

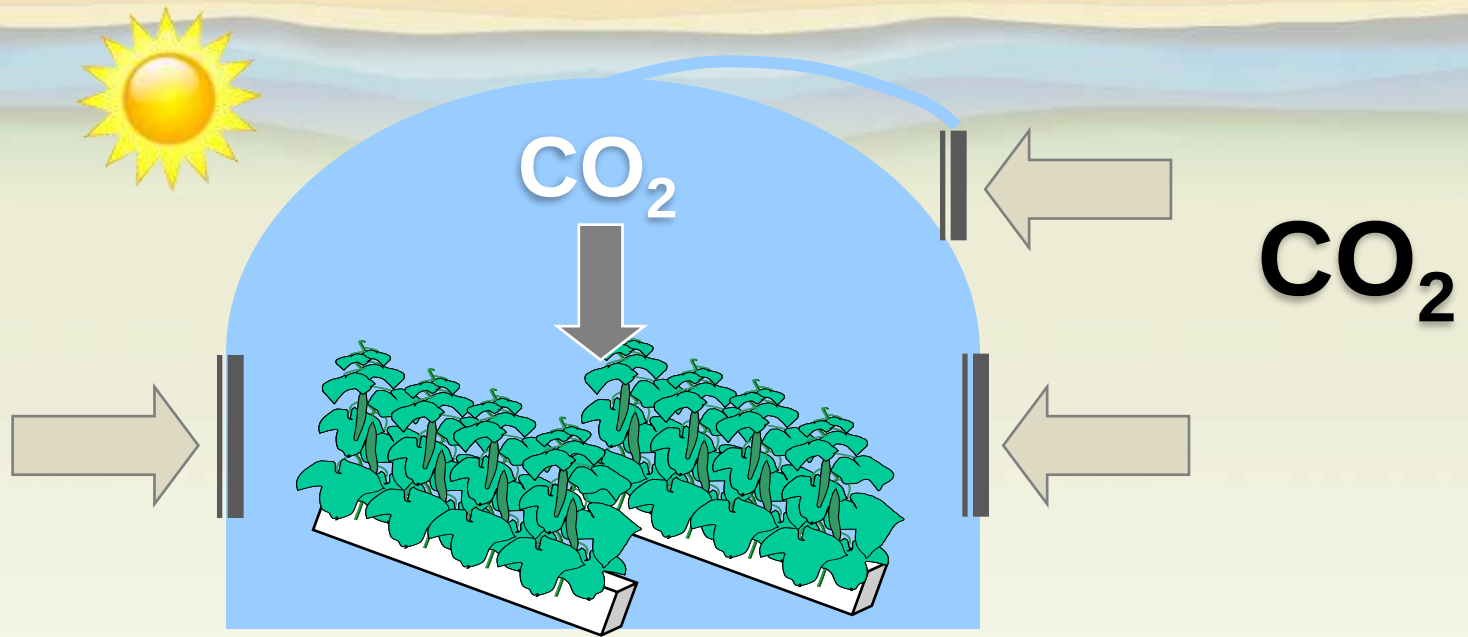
Dimensión	Unidad
Relación de CO ₂ /aire, en volumen	1 vpm = 1 $\mu\text{L.L}^{-1}$ = 1 mL.m^{-3} = 1 cm.m^{-3} = 0,0001% (volumen)
Relación de CO ₂ /aire, en moles	1 ppm = 1 $\mu\text{mol.mol}^{-1}$
Relación de CO ₂ /aire, en peso	1 mg.Kg^{-1} = 0,0001% (peso)
Peso de CO ₂ por volumen aire	1 mg.m^{-3} = 1 $\mu\text{g.L}^{-1}$
Peso de CO ₂ por volumen aire	1 $\mu\text{mol.m}^{-3}$
Presión parcial	1 Pa = 10 μbar

(Nederhoff, 1994)

Concentración de CO₂ en el aire



Concentración de CO_2 en Invernadero pasivo



Consumo fotosintético $>$ Renovación por ventilación

↓ $[\text{CO}_2]$



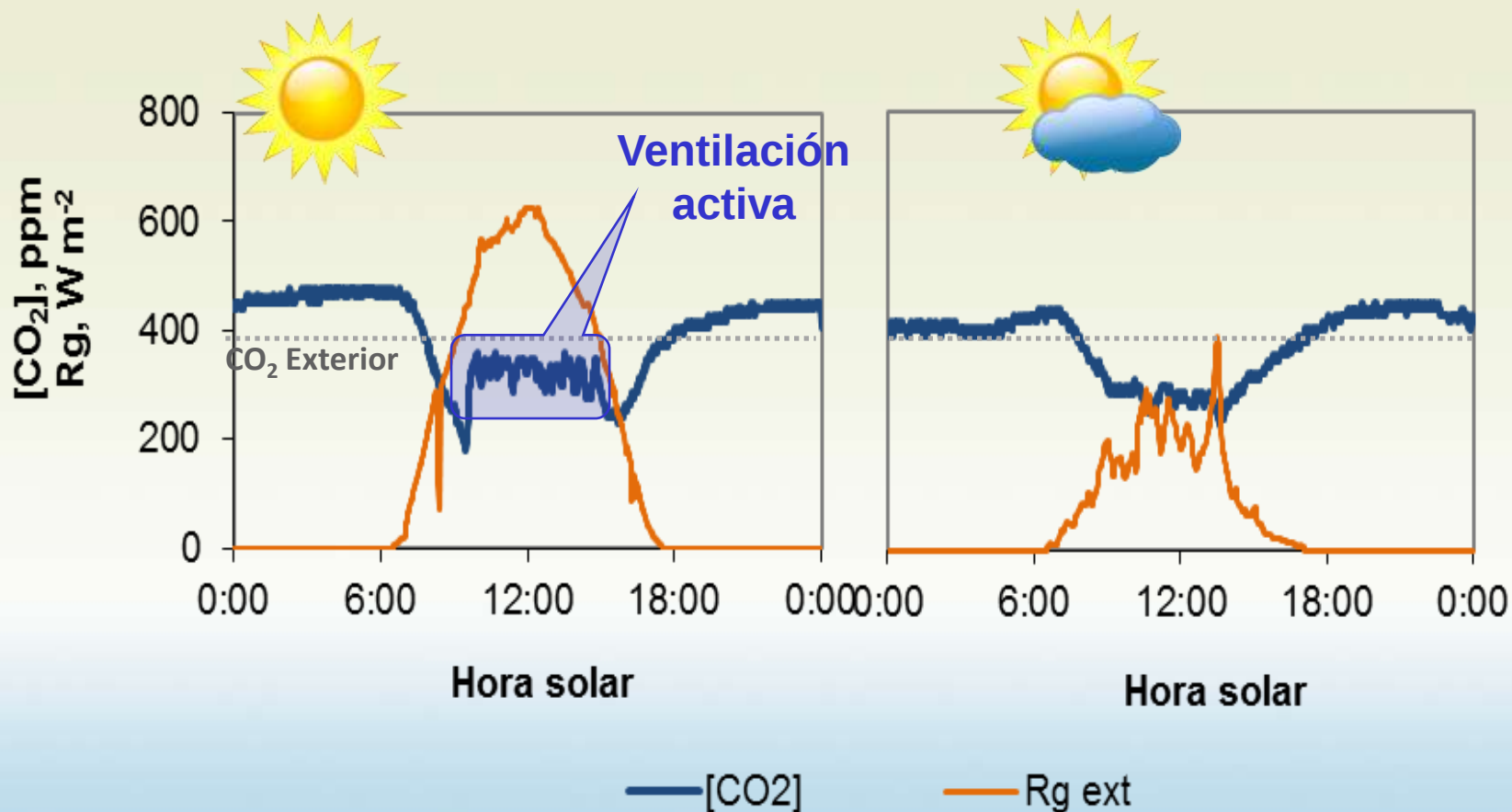
↑ $[\text{CO}_2]$

AGOTAMIENTO DE CO_2

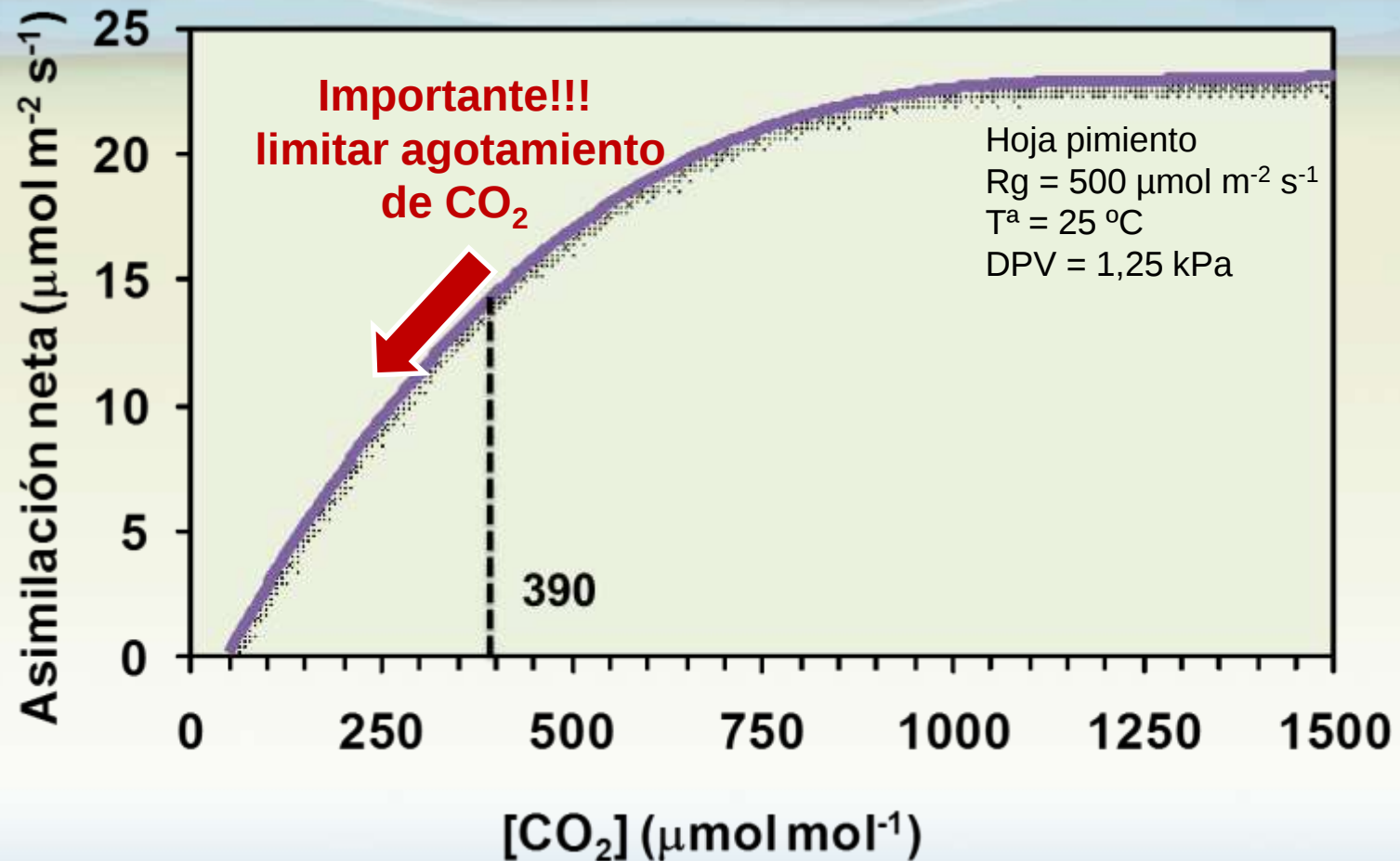
Decremento de la concentración en el interior con respecto al nivel exterior

Concentración de CO₂ 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 $\mu\text{mol mol}^{-1}$**

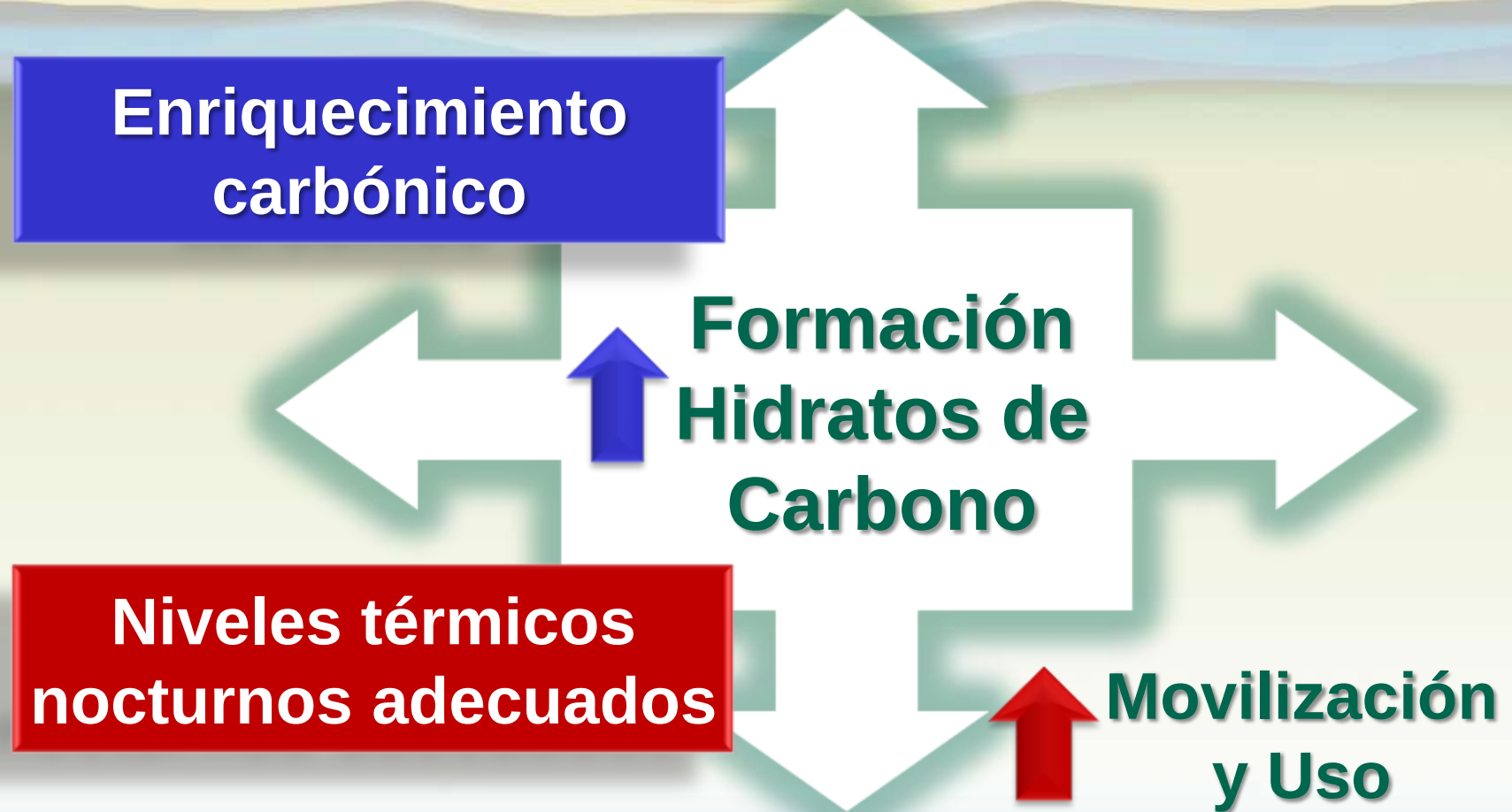
Respuesta del cultivo al aumento de [CO₂]



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 [CO₂] 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 CO₂

- **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 CO₂

Desarrollo de sistemas de extracción y almacenamiento del CO₂ de gases de combustión (Acién, G. 2014. Seminario calefacción invernaderos, Cajamar)



CO₂ PURO



Ventajas:

- Pureza
- Desvinculación del calor

Inconveniente:

- Precio

Enriquecimiento de CO₂: 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 CO₂ en el invernadero por difusión (gradiente de concentración) es muy lento y depende principalmente del movimiento del aire.



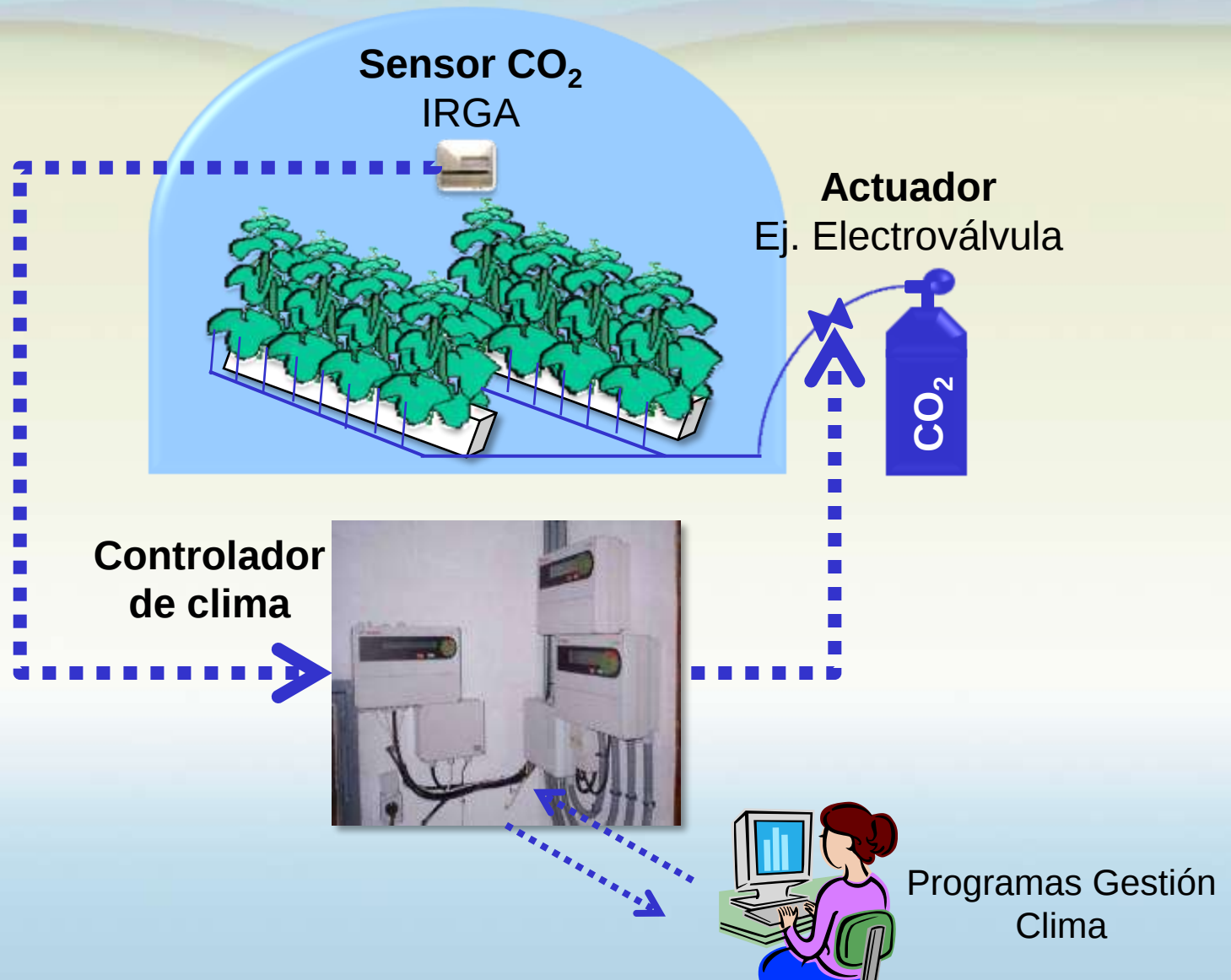
El uso de ventiladores permite mover grandes volúmenes de aire en el invernadero

Adecuado sistema de distribución del CO₂

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

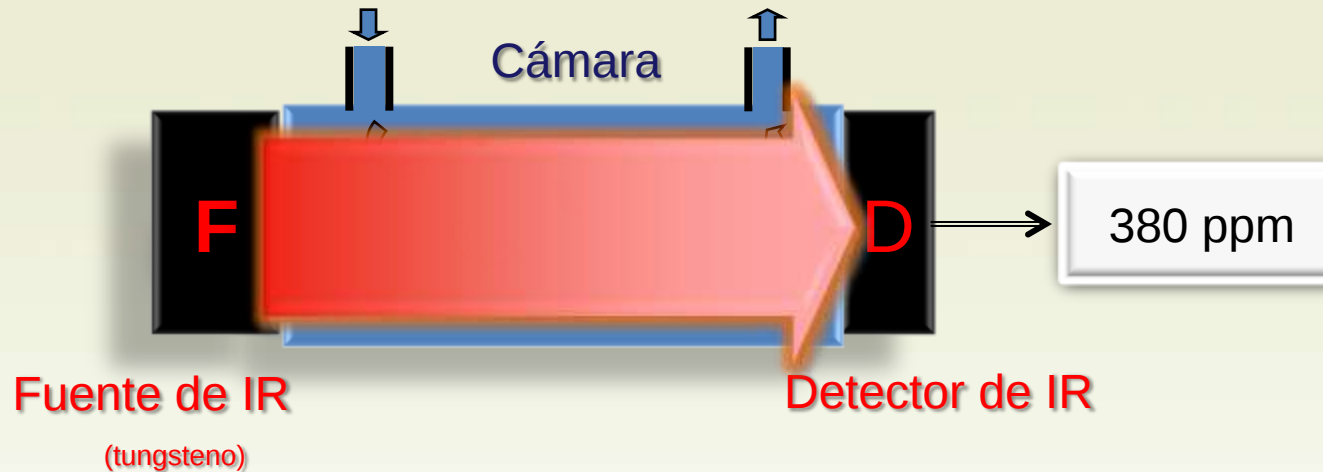


Enriquecimiento de CO₂: CONTROL



Sensor de CO₂ : Analizador de gas por infrarrojo (IRGA)

Componentes básicos



Mide la absorción de IR, proporcional al número de moléculas de CO₂ al paso de la radiación.

Fundamental la adecuada calibración sensor

Si lectura [CO₂] < Real ➔ Aumento del gasto de CO₂ por:

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



Enriquecimiento de CO₂: CONTROL

■ Tasa / concentración constante

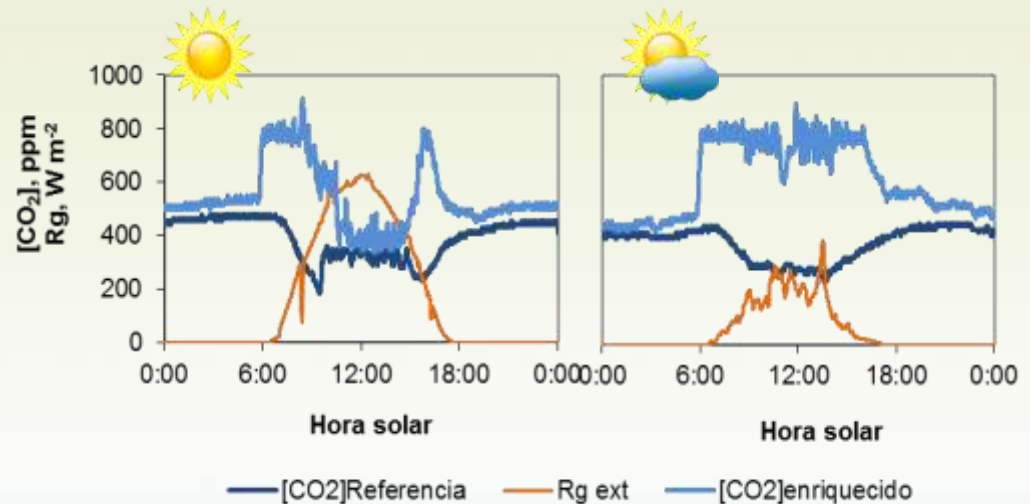
Tasa Constante (Ej. $4,5 \text{ g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$): **Genera variación de [CO₂] a lo largo del día. Exceso (pérdidas por ventilación) o Déficit**

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 $\mu\text{mol mol}^{-1}$
<u>V. Abiertas</u>
380 $\mu\text{mol mol}^{-1}$



■ Optimización dinámica

Se basa en obtener la **MAYOR SALIDA** (producción) con la **MENOR ENTRADA** (CO₂)

Estimación de producción y coste:

Aspectos Biológicos: Fotosíntesis, tasa producción..

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

Aspectos Comerciales: Precio del CO₂ y del producto.....

Resultados experimentales en condiciones mediterráneas

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

Incrementos productivos (ΔP)

Cultivo	Tipo invernadero	Calefacción CO ₂ /Testigo	[CO ₂] _{máx} ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	ΔP (%) CO ₂
Pepino otoño	Multitúnel	No/No	700	+17
Pepino otoño	Parral mejorado	Si/Si	600	+26
Pepino otoño	Parral mejorado	Si/No	600	+56
Judía otoño	Parral	No/No	600	+17
Pimiento otoño	Multitúnel	Si/Si	750	+19

Sánchez-Guerrero y col. (2010)

Interacción con la salinidad de la solución nutritiva

Cultivo	Tipo invernadero	Calefacción CO ₂ /Testigo	[CO ₂] _{máx} ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	ΔP (%)	
				CE _{SN} (7vs5 dS.m ⁻¹)	CO ₂
Tomate tipo RAF	Multitúnel	Si/Si	800	-31	+13

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	$[\text{CO}_2]_{\text{máx}}$ ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	EUA (g L^{-1})		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 CO₂



Estudios realizados en
cultivo de pimiento

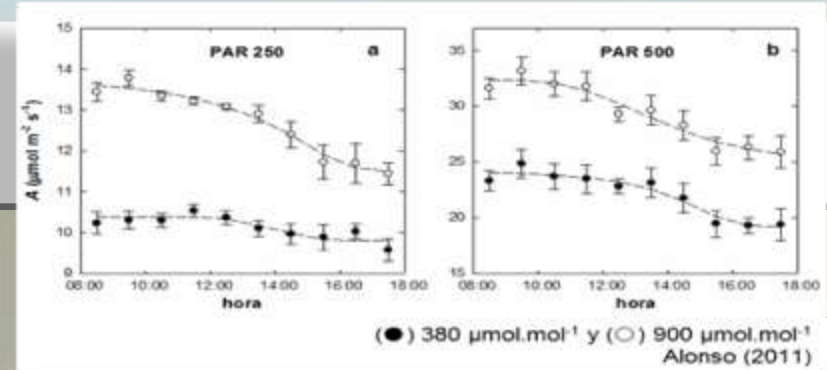
Mejorar la eficiencia del aporte de CO₂

✓ Acotar periodo de aplicación

¿Enriquecer durante todo el periodo diurno?

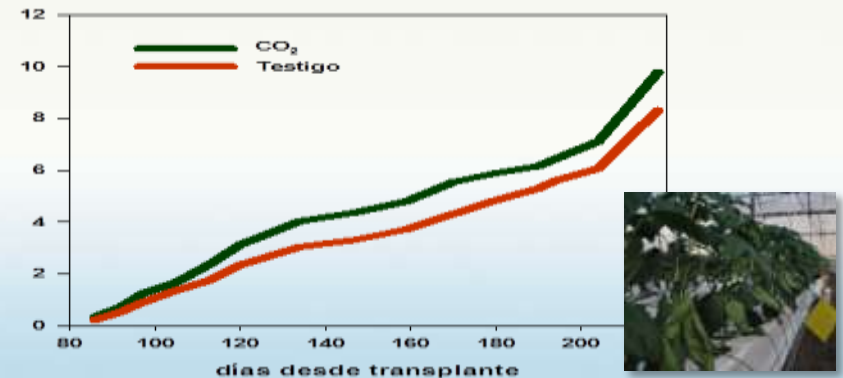
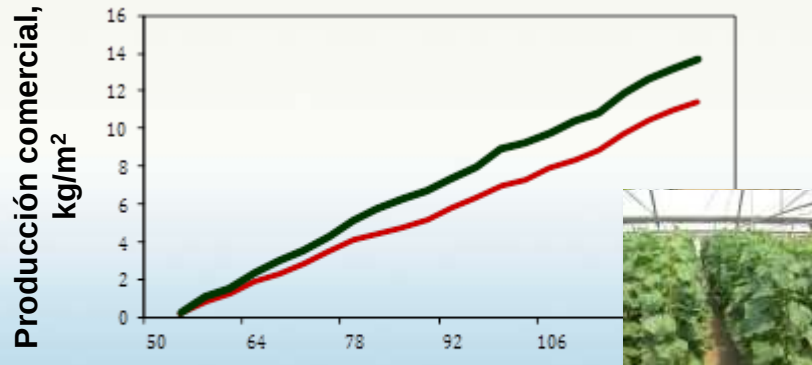
Recomendación:

Limitar el aporte de CO₂ por la tarde
(P.ej. Finalizar 75' antes del ocaso)



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

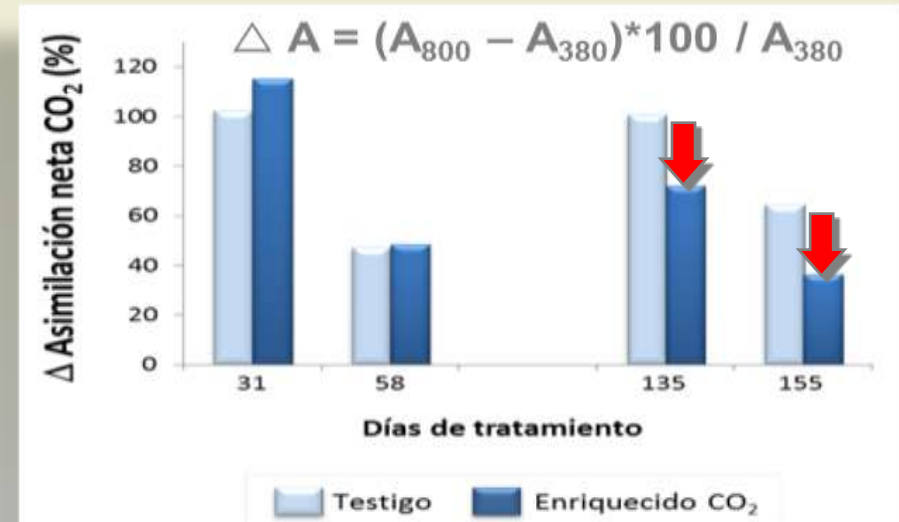
¿Enriquecer durante todo el cultivo?



Pérdida incremento relativo en producción de fruto
Posible aclimatación fotosintética a alto CO₂

Mejorar la eficiencia del aporte de CO₂

Detección del proceso de **aclimatación fotosintética** al enriquecimiento variable de [CO₂] en cultivo de pimiento



Interés del estudio de la respuesta del cultivo enriquecido con CO₂ frente al cese de la aplicación tras la aclimatación.

Mejorar la eficiencia del aporte de CO₂

Estrategia CO₂
Ciclo Parcial

Estrategia CO₂
Ciclo completo

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

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

NO afectó significativamente a la producción final de pimiento, mientras que supuso una DISMINUCIÓN notable del aporte total de CO₂

✓ Mitigar la aclimatación del cultivo a alto CO₂

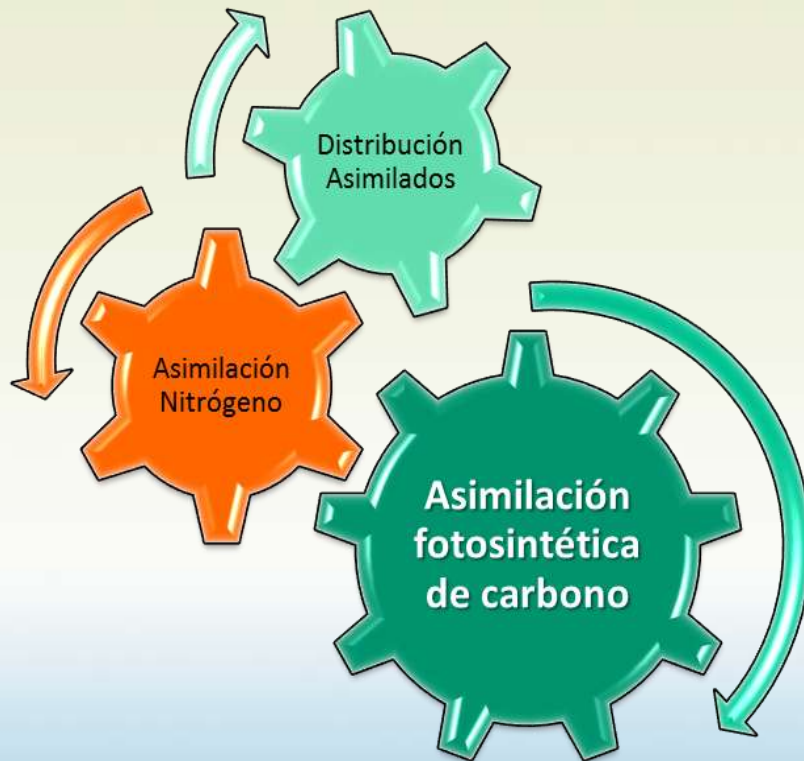
Algunas posibles causas

- Limitación nitrogenada por reducción de la asimilación de NO₃⁻ (relación con inhibición de la fotorrespiración a alto CO₂; no afecta a la asimilación de NH₄⁺)

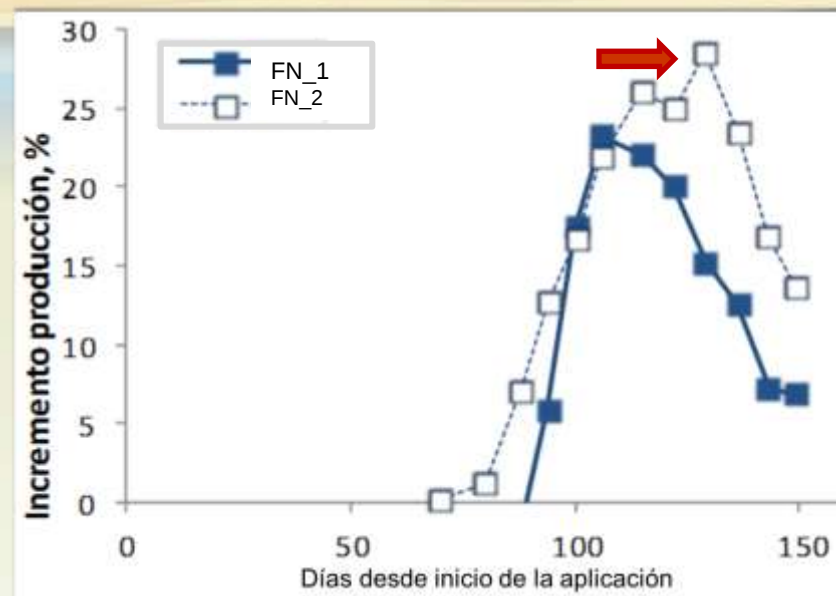
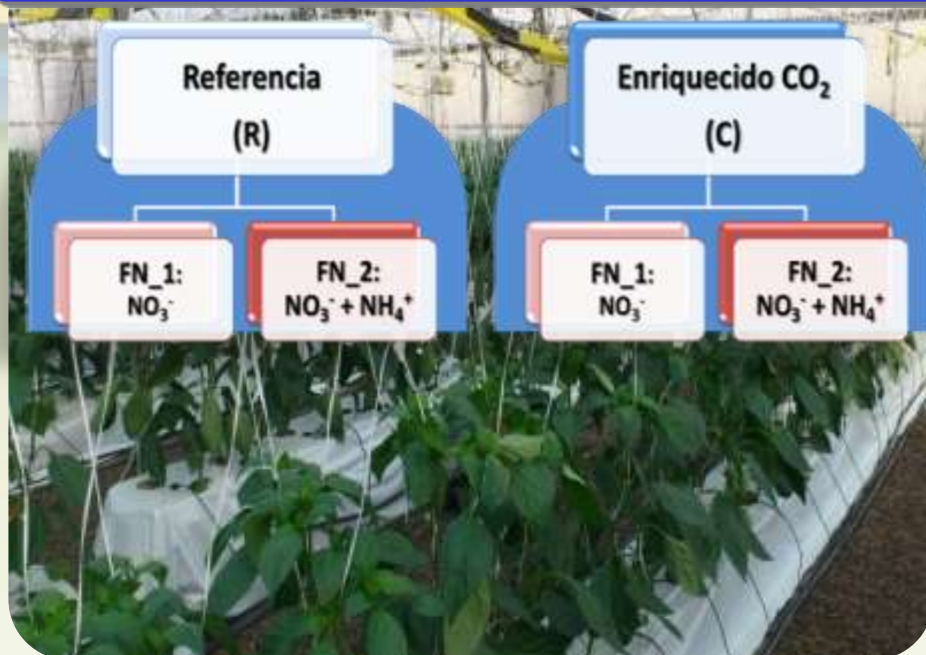
¿Modificar fertilización nitrogenada ?

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

¿Modificar criterio poda ?



Mejorar la eficiencia del aporte de CO₂



Producción 175 DDA	Referencia, R		Enriquecido, C		C	FN	C*FN
	FN_1	FN_2	FN_1	FN_2			
Total (Kg.m ⁻²)	6,1	6,9	7,5	8,1	*	*	n.s.
Comercial, (Kg.m ⁻²)	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.

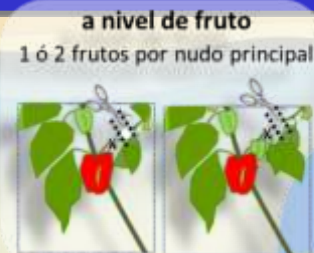
Mejorar la eficiencia del aporte de CO₂



Enriquecido CO₂
(C)

Poda Tallos_2:
2T

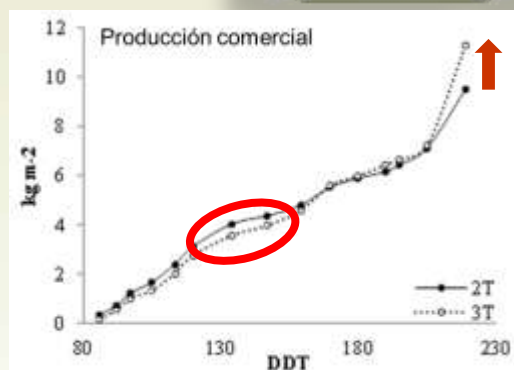
Poda Tallos_3:
3T



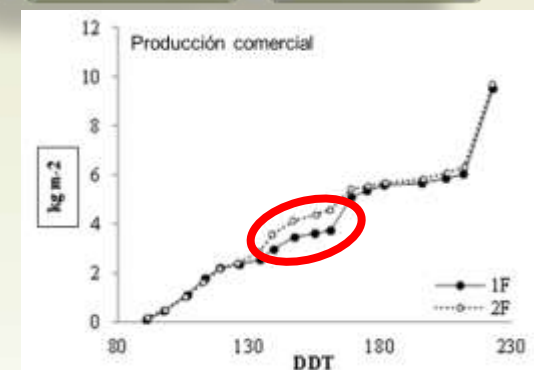
Enriquecido CO₂
(C)

Poda Frutos_1:
F1

Poda Frutos_2:
F2



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 ⁻²)		Nº Frutos (Frutos m ⁻²)		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	*	*	*	*

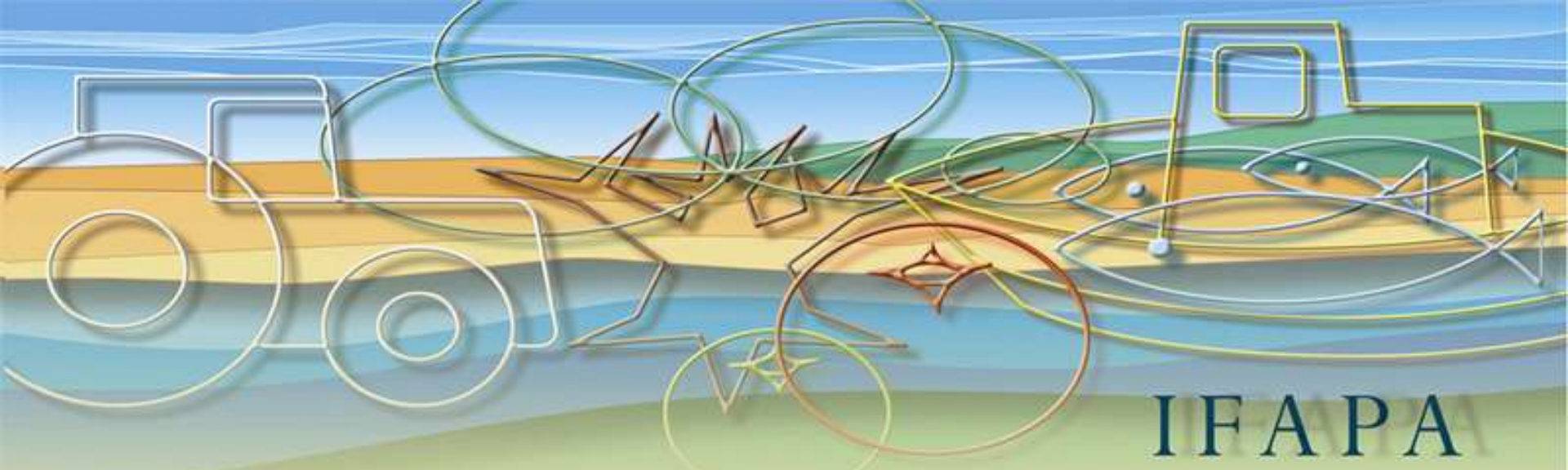
Producción final: Aumentó con la menor poda de tallos (3T vs 2T). No efecto de poda de frutos.

RESUMEN

- La $[\text{CO}_2]$ 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 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 CO_2 .



IFAPA

Gracias por su atención

IFAPA La Mojonera

mariac.sanchezguerrero@juntadeandalucia.es