

FUENTES DE CO<sub>2</sub> Y ESTRATEGIAS DE APORTE EN LOS CULTIVOS PROTEGIDOS BAJO CONDICIONES MEDITERRÁNEAS

# Hacia una aplicación más eficaz del enriquecimiento carbónico en cultivos hortícolas

La concentración de CO<sub>2</sub> es uno de los principales factores determinantes del crecimiento y desarrollo de los cultivos. Hasta el presente, los resultados experimentales llevados a cabo en cultivos hortícolas en invernade-

ro, indican una respuesta positiva en la producción de fruto con la incorporación del enriquecimiento carbónico, poniendo de manifiesto las condiciones limitantes incluso al nivel de concentración exterior.

Francisco J. Alonso, M<sup>o</sup> Cruz Sánchez-Guerrero, Pilar Lorenzo y Evangelina Medrano.

Área de Producción Agraria. IFAPA Centro La Mojonera. Almería

El cultivo en invernadero se desarrolla en un ambiente semicerrado, en el que es frecuente observar como la concentración de CO<sub>2</sub> cae por debajo del nivel exterior, actualmente en torno a 380 μmol mol<sup>-1</sup>. Este agotamiento es causado por la absorción de CO<sub>2</sub> por el cultivo y un influjo insuficiente del mismo hacia el interior del invernadero que se incrementa cuando la tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> por el cultivo es elevada (condiciones de alta radiación y dosel vegetal cerrado) y la tasa de renovación del aire en el interior de las estructuras es baja.

Tras la incorporación de mallas antiinsecto en las ventanas del invernadero, como práctica generalizada adoptada en la horticultura del sudeste mediterráneo para proteger los cultivos de las plagas, se han cuantificado reducciones importantes de la tasa de ventilación del invernadero (Muñoz y col., 1999). La ventilación natural, aunque es un método paliativo, resulta insuficiente para restablecer la concentración de CO<sub>2</sub> en el interior de las estructuras de cultivo.

En el área mediterránea se han registrado concentraciones inferiores a la exterior durante prácticamente todo el periodo de luz, especialmente cuando el cultivo está desarrollado. Prospecciones realizadas en Almería en invernaderos comerciales pusieron de manifiesto el decremento en la concentración de CO<sub>2</sub> en el interior de las estructuras, del orden del 20%

respecto a la exterior (Lorenzo y col., 1990), aún cuando las ventanas permanecían abiertas y especialmente con baja velocidad del viento (menor de 1,5 m s<sup>-1</sup>). Estos descensos son más importantes cuando el cultivo está desarrollado y presenta una superficie foliar elevada llegando a detectarse a 2 m de altura concentraciones en torno a un 55% inferiores a la exterior en campaña de primavera (Sánchez-Guerrero y col., 1995). La duración del agota-

miento de CO<sub>2</sub> diurno es mayor a medida que el cultivo crece (figura 1).

## Manejo en condiciones mediterráneas

Los países del litoral mediterráneo presentan características muy diferentes en relación al clima y a los sistemas de producción respecto a los países de clima frío. El principal problema de los invernaderos de clima cálido es el exceso de temperatura durante gran parte del ciclo de los principales cultivos, lo que obliga a incrementar al máximo la ventilación. Además en estos invernaderos generalmente no se instalan sistemas de calefacción, como se constata en el caso de Almería con únicamente un 0,4% de superficie invernada calefactada (Céspedes y col., 2009), por lo que a diferencia de los países fríos no disponen de una fuente económica de CO<sub>2</sub>. El precio más elevado de otras fuentes de CO<sub>2</sub>, junto con los intereses contrapuestos entre ventilación y enriquecimiento carbónico, han frenado la generalización de esta técnica en los invernaderos del litoral mediterráneo.

### Fuentes de CO<sub>2</sub>

El aporte de dióxido de carbono se puede realizar bien sea utilizando el componente del gas generado en la combustión de hidrocarburos fósiles o bien con CO<sub>2</sub> puro. Otras posibles fuentes son el CO<sub>2</sub> obtenido del gas procedente de la combustión y/o el compostaje de residuos agrícolas.

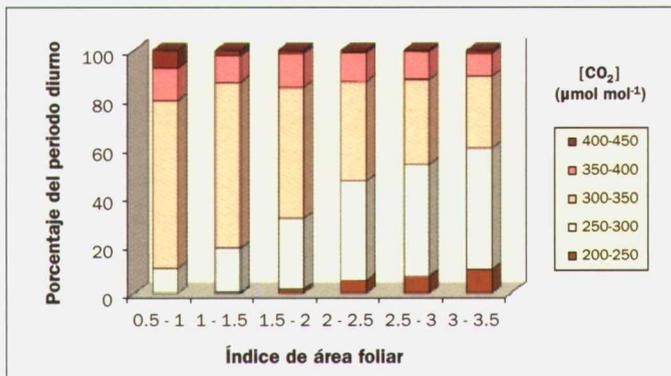
En el enriquecimiento carbónico con CO<sub>2</sub> generado en procesos de combustión es im-



Cultivo de pimiento con poda "holandesa" a tres tallos con enriquecimiento carbónico. El aporte de CO<sub>2</sub> al aire se realiza mediante un sistema de tuberías de distribución con emisores situados en la base de las plantas.

FIGURA 1.

Distribución por rangos de la concentración de CO<sub>2</sub> (media diaria) en un invernadero con cultivo de pepino de otoño, para diferentes valores de índice de área foliar.



Vista general del sistema de distribución del CO<sub>2</sub> en un invernadero con cultivo de pimiento en sustrato. El analizador de CO<sub>2</sub> para controlar el aporte se sitúa en la zona central.

portante utilizar combustibles apropiados para este fin como gas natural, propano y parafina de bajo contenido en azufre. Es necesario ajustar adecuadamente el aporte de oxígeno al quemador, para evitar una combustión incompleta en la que se produz-

can cantidades peligrosas de componentes tóxicos.

En condiciones mediterráneas, la aplicación de los gases de combustión como técnica de enriquecimiento carbónico es una alternativa cuestionable puesto que la necesidad de

aporte de calor en los invernaderos es mucho más reducida y no está acompañada con el periodo diario en el que se requiere aumentar la concentración de CO<sub>2</sub>.

El CO<sub>2</sub> puro es considerado como una buena fuente para el enriquecimiento carbónico



NUEVO

# KLEBER Gripker

Neumático ancho Serie 65 para tractores de 80 a 180 CV

- Gran respeto de cultivos y prados
- El campeón en trabajos de labor
- Prestaciones óptimas para todos sus trabajos

KLEBER. Pensando siempre en ti

**Kleber**



principalmente por su pureza, que le confiere seguridad, y por su desvinculación de la producción de calor, que permite aportarlo en cualquier momento y en la cantidad deseada; además su reducido volumen facilita su transporte y distribución. No obstante, esta fuente posee el inconveniente de su elevado precio.

### Estrategias de aporte

El aporte de CO<sub>2</sub> se realiza de acuerdo con una estrategia diaria y de cultivo, que es elegida en primer lugar en función de las posibilidades del equipo disponible. Dicha estrategia puede ser desde tan simple como el suministro de dióxido de carbono, durante un periodo diario determinado, a una tasa constante o a una concentración constante, independientemente de la ventilación del invernadero, o bien una estrategia dinámica modificada en función de las necesidades de ventilación.

La práctica del enriquecimiento carbónico a una tasa constante da lugar a una variación de la concentración de CO<sub>2</sub> en el invernadero a lo largo del día, en función de la tasa de fotosíntesis del cultivo, de manera que en determinados momentos se pueden alcanzar niveles de CO<sub>2</sub> demasiado elevados o reducidos en exceso, dependiendo de la tasa de aporte elegida.

Con el enriquecimiento carbónico a una concentración constante, situaciones de alta temperatura del aire en el invernadero que hacen necesaria la ventilación incrementan la dificultad para mantener los niveles elevados de CO<sub>2</sub> y por tanto aumentan el coste de su aporte. Por otra parte, mantener las ventanas cerradas tanto como sea posible, para permitir un elevado nivel de enriquecimiento de CO<sub>2</sub>, puede dar lugar a una disminución de la fotosíntesis neta por efecto de una elevada temperatura y a una reducción de la producción comercial y calidad de los frutos.

Cuando el invernadero está ventilado el



Cultivo de pepino enriquecido con CO<sub>2</sub>.

aporte de CO<sub>2</sub> puede ser rentable si se enriquece solamente al nivel exterior. En la mayoría de computadoras de control climático permiten relacionar los puntos de control de CO<sub>2</sub> con la apertura de las ventanas, la velocidad del viento o con ambas, permitiendo un enriquecimiento dinámico, con diferentes niveles de concentración para distintas condiciones de ventilación.

### Estudios realizados

Desde 1990, junto con el avance de los sistemas de control de clima en los invernaderos, en el centro IFAPA de Almería, se han realizado diversos estudios sobre el aporte de CO<sub>2</sub> con diferentes equipos, fuentes y estrategias de aplicación en cultivos hortícolas bajo diferentes estructuras de invernadero.

Los primeros estudios sobre la aplicación de enriquecimiento carbónico se realizaron uti-

lizando pequeños generadores que liberaban el flujo de gases de la combustión de parafina directamente al interior de un invernadero parral tradicional. Las experiencias realizadas, pusieron de manifiesto la necesidad de aplicar un mayor nivel de ventilación en el invernadero enriquecido que en el testigo, para compensar el aumento térmico perjudicial provocado por la aplicación simultánea de calor con el generador (Sánchez-Guerrero, 1999), lo que implica mayor cantidad de combustible. Además, el funcionamiento *on/off* de estos equipos suponía un reducido control del nivel de CO<sub>2</sub>, limitado a mantenerlo dentro de un rango fijo de concentración establecido entre 350 y 600 μmol mol<sup>-1</sup>.

En estudios posteriores se llevó a cabo la incorporación de CO<sub>2</sub> puro, de acuerdo con una estrategia dinámica en la que se modificaba el nivel de control en función de la ventilación: 700 μmol mol<sup>-1</sup> cuando las ventanas permanecían cerradas y 350 μmol mol<sup>-1</sup> cuando éstas se abrían. Estas experiencias se realizaron tanto en un invernadero multitúnel como en un parral mejorado en estructura y equipamiento. Este método se mostró eficaz para aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> a los niveles establecidos, si bien el aumento de la concentración media diaria dependía de la actuación de la ventilación.

La incorporación de CO<sub>2</sub> en el interior de estas estructuras ha favorecido significativamente la producción de fruto. Se han obtenido incrementos desde un 12% en judía en un invernadero tipo parral, hasta un 19% en pepino en un invernadero multitúnel (**cuadro I**).

Es importante también cuantificar la eficiencia del aporte del gas, la cual puede estimarse a partir del incremento obtenido en la producción en relación a la cantidad de CO<sub>2</sub> aplicada. Dicha eficiencia no sólo depende de la estanqueidad del invernadero con ventanas cerradas, sino que también está influenciada por el manejo realizado del enriquecimiento en relación a la ventilación, así como por la asimilación del CO<sub>2</sub> por parte del cultivo. Por tanto, la eficiencia de la aplicación del enriquecimiento carbónico podría mejorarse mediante la optimización de la aplicación del enriquecimiento carbónico, o bien mediante prácticas culturales que permitan aumentar el potencial productivo para una misma cantidad de gas aplicada.

Con este objetivo se ha realizado un estudio en un cultivo de pimiento, en el ciclo de otoño-invierno de la campaña 2008/2009, donde se analizó la interacción entre el enriquecimiento

### CUADRO I

Incremento productivo (ΔP) obtenido en diferentes estructuras de invernadero en condiciones mediterráneas, con distintas estrategias de aplicación y valores de consigna de concentración de CO<sub>2</sub> máximas diferentes.

Cultivo	Tipo invernadero	Equipamiento	Estrategia	[CO <sub>2</sub> ] máx (μmol mol <sup>-1</sup> )	ΔP (%)
Pepino otoño <sup>1</sup>	Multitúnel	Inyección CO <sub>2</sub> puro	Dinámica	700	19
Judía primavera <sup>1</sup>	Parral	Quemador parafina	Rango de concentración	600	12
Judía otoño <sup>1</sup>	Parral	Quemador parafina	Rango de concentración	600	17
Tomate cherry <sup>2</sup>	Multitúnel	Inyección CO <sub>2</sub> puro	Dinámica	700	15

<sup>1</sup> Sánchez-Guerrero (1999); <sup>2</sup> IFAPA (datos no publicados).

carbónico y la poda de formación de la planta.

El experimento se realizó en dos invernaderos multitúnel de 720 m<sup>2</sup>, uno de los cuales disponía de instalación para el aporte de CO<sub>2</sub> puro al aire, con un sistema de distribución del gas por tuberías de polietileno y emisores situados en la base de las plantas.

La ventilación se activó por consignas de temperatura y humedad de 25°C y 75/80% día/noche. El enriquecimiento carbónico del aire se llevó a cabo en uno de los invernaderos desde los 33 días desde el transplante (ddt) hasta el final del ciclo. Se aportó CO<sub>2</sub> para mantener una concentración del aire interior de 750 μmol mol<sup>-1</sup> cuando la apertura de las ventanas cenitales fue inferior al 30% y en caso contrario para mantenerla próxima a la exterior (380 μmol mol<sup>-1</sup>). El periodo de enriquecimiento diario se estableció desde 30 minutos antes de la salida del sol, para alcanzar la concentración deseada en el comienzo de la actividad fotosintética, hasta 1 hora antes de la puesta del sol para un mejor aprovechamiento del CO<sub>2</sub> por el cultivo antes del cese de la actividad fotosintética.

En los dos invernaderos se realizaron dos tipos de poda de formación tipo holandesa, dejando dos y tres tallos por planta, con el objetivo de obtener distinta capacidad de sumidero del cultivo.

La estrategia de aplicación de CO<sub>2</sub> ligada a la ventilación evitó descensos considerables de la concentración diurna de CO<sub>2</sub> en el interior del invernadero enriquecido. La aplicación de CO<sub>2</sub> incrementó la producción de frutos en un 18% respecto al invernadero no enriquecido para la poda de formación a dos tallos. Sin embargo, para la misma cantidad de CO<sub>2</sub> aplicada, con la poda de formación a tres tallos aumentó la producción final del cultivo respecto a la formación a dos tallos en el testigo un 26%, mejorando así la eficiencia de la aplicación.

## Conclusiones

Los estudios realizados en invernaderos mediterráneos sobre la aplicación de enriquecimiento carbónico del aire, de acuerdo a una estrategia con una consigna de CO<sub>2</sub> variable

según la ventilación, muestran el interés agrícola de la práctica, e indican un manejo más eficaz de la técnica. La eficiencia del enriquecimiento carbónico es susceptible de ser mejorada, tanto a nivel de precisión en las consignas de aplicación, como mediante la aplicación de técnicas de cultivo que potencien el aprovechamiento del CO<sub>2</sub>. ●

## Agradecimientos

Parte de la información recogida en este texto ha sido financiada por el INIA (Proyecto: RTA2006-00050-00-00), los fondos FEDER y Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA). Nuestro agradecimiento también a la empresa Carbuos Metálicos por su colaboración.

## Bibliografía ▼

Existe una amplia bibliografía a disposición de nuestros lectores que pueden solicitar a través del e-mail: [redaccion@eumedia.es](mailto:redaccion@eumedia.es)

COORGANIZAN



IFEMA  
Feria de Madrid



# EL MEJOR MERCADO PARA CULTIVAR NEGOCIOS

fruit  
attraction

FERIA PROFESIONAL DEL SECTOR DE FRUTAS Y HORTALIZAS

20-22

OCTUBRE

2010

[www.fruitattraction.ifema.es](http://www.fruitattraction.ifema.es)

### LÍNEA IFEMA

LLAMADAS DESDE ESPAÑA  
INFOIFEMA 902 22 15 15  
EXPOSITORES 902 22 16 16

LLAMADAS INTERNACIONALES (34) 91 722 30 00

[fruitattraction@ifema.es](mailto:fruitattraction@ifema.es)