

Fertilización carbónica

Cultivo de tomate en hidroponía



Maite Astiz, Juan Del Castillo (INTIA), Pere Muñoz, Robert Savé, Xabier Aranda (IRTA)

Dentro de la experimentación realizada en el cultivo hidropónico de tomate durante la campaña de 2011, se ha llevado a cabo un ensayo para conocer el efecto de la fertilización carbónica en nuestras condiciones de cultivo.

Este ensayo, realizado de la mano de IBERDROLA GENERACIÓN S.A.U y el Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias de Cataluña (IRTA), se enmarca dentro del Proyecto CENIT SOST- CO₂, financiando por el Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) del Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España.

El proyecto SOST- CO₂ tiene como objetivo abordar el ciclo de vida completo del CO₂, desde su captura en las fuentes de emisión pasando por su almacenamiento, transporte, utilización y valorización a gran escala.

En este contexto se pretenden investigar nuevas utilidades industriales sostenibles de CO₂, formas de almacenamiento, etc. Entre las mismas, se ha desarrollado un proyecto que pretende estudiar la utilización de CO₂ procedente de centrales térmicas y su aplicación en horticultura, tanto por sus potenciales beneficios como fertilizante, como por sus temporales efectos en las políticas de mitigación frente a las emisiones de carbónico.

El objeto del presente ensayo es, como fase preliminar, conocer el efecto de la fertilización carbónica (mediante el CO₂) en el cultivo de tomate hidropónico en nuestras condiciones.



La fertilización carbónica es una técnica basada en tratar de incrementar la fotosíntesis, y en consecuencia la productividad vegetal, mediante el empleo de anhídrido carbónico. La técnica del enriquecimiento carbónico, aplicada a los invernaderos dedicados a cultivos hortícolas y/o ornamentales es una técnica agronómica

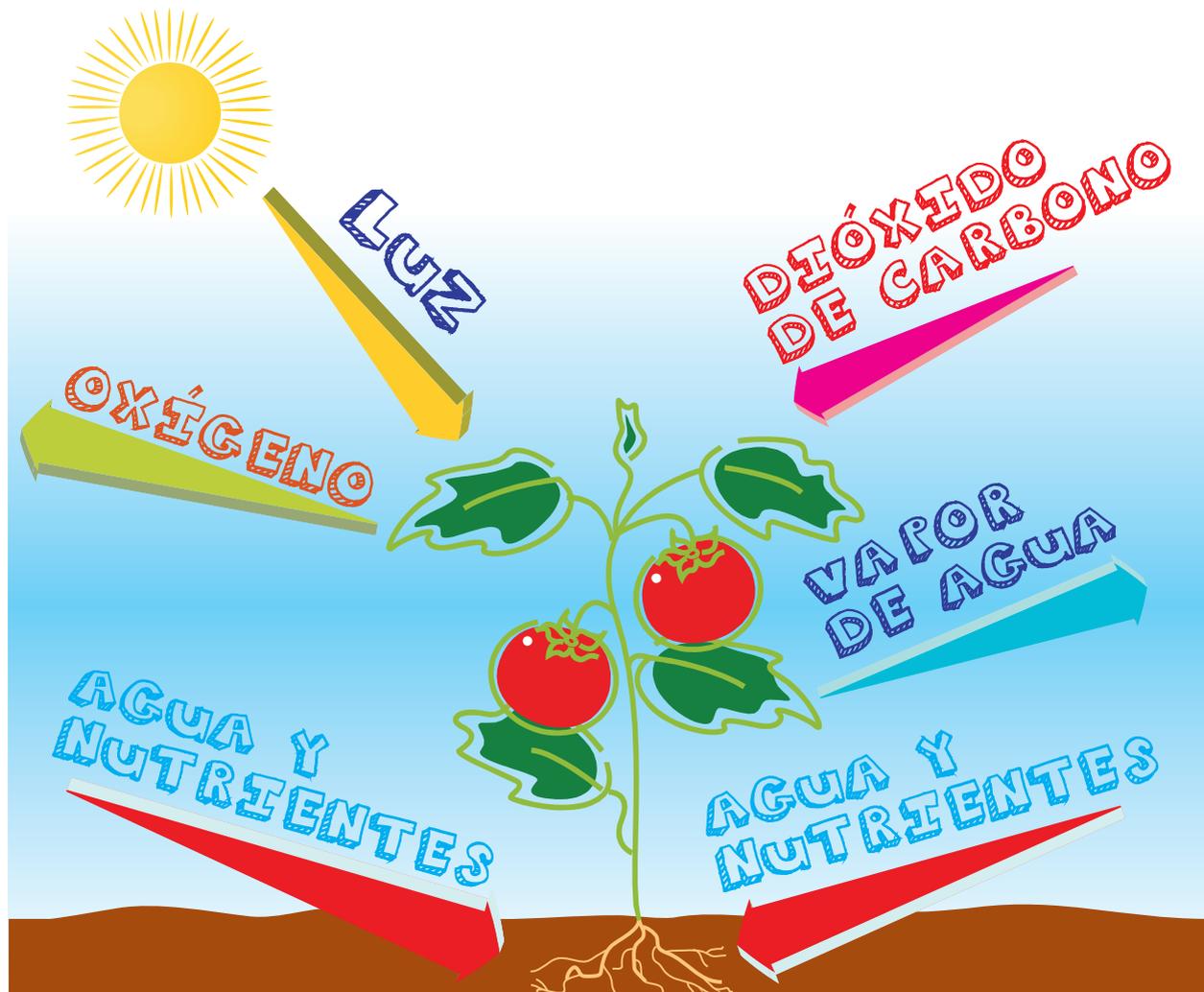
empleada desde hace años, particularmente en los países del centro y norte de Europa. Sin embargo, en climas suaves mediterráneos como ocurre en la mayor parte de España, es necesario mantener los invernaderos abiertos para permitir una correcta ventilación natural que permita reducir las elevadas temperaturas, lo cual entra en contraposición con la aplicación de CO₂.

INTRODUCCIÓN

El CO₂ y la fotosíntesis

El CO₂ se encuentra de forma natural en la atmósfera y por tanto en el ambiente del invernadero. Es imprescindible para el desarrollo de las plantas, ya que supone

1. Proceso de respiración y fotosíntesis que tiene lugar en las plantas dentro del invernadero



la fuente de carbono para los compuestos orgánicos que necesitan, en definitiva, para los compuestos que constituyen su biomasa (hojas, tallos, frutos etc.).

En el exterior, la concentración de CO_2 oscila entre 330 y 400 ppm. Dentro del invernadero sin embargo, la concentración de CO_2 sufre mayores oscilaciones debido a los procesos de fotosíntesis y respiración que tienen lugar en las plantas (Dibujo 1).

Durante la fotosíntesis las plantas captan energía lumínica y CO_2 a través de las hojas, y agua y nutrientes a través de las raíces. Gracias a estos elementos y la clorofila de las hojas, las plantas consiguen sintetizar azúcares y diversos compuestos orgánicos necesarios para su desarrollo. La fotosíntesis es la responsable del crecimiento de las plantas y de las producciones que obtenemos en el cultivo. Por tanto, favoreciendo la fotosíntesis conseguimos favorecer el desarrollo de las plantas y de la agricultura en nuestro caso.

A su vez las plantas también respiran para la obtención de energía, de modo que en ese proceso, al contrario de lo que sucede en la fotosíntesis, absorben O_2 del ambiente y liberan CO_2 . Respiración y fotosíntesis son procesos que se dan simultáneamente durante el día. Durante la noche sin embargo, no puede darse la fotosíntesis por falta de luz, lo que conlleva un aumento de concentración del CO_2 en el invernadero por la respiración de las plantas. En momentos del día de gran actividad fotosintética en cambio, el nivel de CO_2 será menor que en el exterior debido al consumo de las plantas. En estos momentos podemos encontrarnos con niveles de CO_2 limitantes, es decir, la actividad fotosintética puede estar limitada por la baja disponibilidad de CO_2 .

Como se observa en la ilustración, el CO_2 no es el único factor que interviene en la fotosíntesis, de modo que para su aprovechamiento, el resto de factores debe encontrarse en niveles que tampoco limiten el proceso.



La fotosíntesis y el invernadero

La luz, la temperatura, la cantidad de nutrientes disponibles y la humedad relativa del aire son el resto de factores ambientales que influyen en la actividad fotosintética. Lo que intentamos conseguir con la producción en invernadero, gracias a la estructura y a su adecuado manejo, es mejorar los niveles de estos factores respecto al exterior para mejorar la tasa fotosintética y el consiguiente desarrollo del cultivo. A través de la estanqueidad y cierto nivel de aislamiento térmico del plástico, el aporte de calor con calefacción, el aporte de humedad mediante agua al ambiente, el sombreado etc. se consigue mejorar las condiciones de luz, temperatura y humedad relativa.

¿Y cómo mejoramos los niveles de CO_2 ? Como hemos comentado, dentro de un invernadero con cultivo, en algunos momentos las concentraciones de CO_2 suelen

MEJORA DE LA PAJA COMO ALIMENTO DEL GANADO



¿POR QUÉ USAR ESTA TÉCNICA?

- Partimos de un subproducto del cereal
- Obtienes un alimento enriquecido en proteínas.
- Aumentas la apetecibilidad de la paja
- Aumentas la digestibilidad de la paja
- Perfecta conservación gracias al poder antifúngico del amoníaco.
- No requiere ningún tipo de inversión

TRATAMIENTO CON AMONIACO DE LA PAJA DE CEREAL

Se inyecta Amoníaco Anhidro en una pajera cerrada al aire libre.

Los animales comerán más cantidad de paja, con un aumento de las ganancias diarias de peso (aumento de la producción de carne y leche), limitando los riesgos de acidosis.



ser más bajas que en el exterior debido al consumo de las plantas. Una buena ventilación aumentaría el nivel de CO_2 hasta igualarlo con el exterior en estos casos, pero la manera de conseguir un aumento en todo momento es únicamente mediante el aporte de CO_2 . Así se consiguen concentraciones superiores a las de la atmósfera, hasta niveles entre 700 y 1000 ppm, con los que se ha comprobado la mejora de la respuesta productiva.

Mejorando el resto de condiciones ambientales mejoramos el aprovechamiento del CO_2 aportado, que sería menor, por ejemplo, en casos de exceso lumínico, temperaturas que ralenticen el metabolismo de la planta, niveles de humedad relativa que provoquen un cierre estomático, etc.



En cuanto a la nutrición, el agua y las sales minerales también pueden llegar a limitar el crecimiento de las plantas si no se encuentran en cantidad adecuada. En un sistema de cultivo hidropónico contamos con un máximo control sobre la nutrición a través de la fertirriación. Con estos sistemas se consigue que tanto el agua como las sales minerales no limiten el desarrollo del cultivo. Por ello, el aprovechamiento de un aporte de CO_2 será mayor en un sistema de cultivo hidropónico en invernadero, donde el resto de factores que influyen en la fotosíntesis van a ser menos limitantes que en otras situaciones.

El aporte de CO_2 – Fertilización carbónica

Actualmente existen varios sistemas para el aporte o enriquecimiento de CO_2 , en los que el coste y la pureza del aporte también varían. Se puede aportar por un lado CO_2 puro comprado, aprovechar el CO_2 que generan algunos sistemas de calefacción del invernadero, el CO_2 proveniente de plantas de cogeneración, o el que se genera en una central térmica de ciclo combinado. En estos casos, hay que cerciorarse previamente de que el gas que aporta el sistema esté exento de otros gases tóxicos o nocivos para el crecimiento del cultivo.

FERTILIZACIÓN CARBÓNICA Y FOTOSÍNTESIS

En presencia de luz la planta necesita CO_2 atmosférico para poder sintetizar compuestos orgánicos a través de la fotosíntesis, además de agua, nutrientes y adecuadas condiciones de humedad relativa y temperatura. En condiciones no limitantes al crecimiento, la concentración de CO_2 durante el mediodía en el invernadero puede ser limitante. En estos casos se consigue aumentar la tasa fotosintética, y consecuentemente el desarrollo del cultivo, mediante la fertilización carbónica.



OBJETIVO

En estudios de fertilización carbónica se han venido observando diferencias en la respuesta de diferentes cultivos. Interesa conocer si se da una mejora en cantidad, en calidad o en ambos casos. Por otro lado las mejoras también varían en función de las condiciones climáticas de la zona de cultivo. El objeto de este ensayo ha sido comparar la respuesta productiva de la planta de tomate con y sin fertilización carbónica en nuestras condiciones de cultivo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha comparado la producción de tomate variedad Jack en sacos de perlita, con y sin fertilización carbónica. El ensayo se ha realizado en dos naves de orientación N-S de 256m². En cada nave se han dispuesto dos tipos de plantas de la misma variedad pero distinto estado fenológico, la mitad con la primera flor abierta y la otra mitad sin la flor abierta todavía.

Variables

Se ha contado con las siguientes variables:

- ♦ **FiSi:** planta de la finca, con primera flor abierta con fertilización carbónica
- ♦ **CoSi:** planta comercial joven con fertilización carbónica
- ♦ **FiNo:** planta de la finca, con primera flor abierta sin fertilización carbónica
- ♦ **CoNo:** planta comercial joven sin fertilización carbónica

La densidad de plantación ha sido de 1,6 plantas/m² y se ha contado con 4 repeticiones por variante y un tamaño de parcela elemental de 10m².

Fechas de cultivo

Fechas de plantación y fin de cultivo

| | Primavera | Otoño |
|--------------------|------------|------------|
| Plantación | 21/02/2011 | 05/07/2011 |
| Fin de recolección | 25/06/2011 | 04/11/2011 |

Abonado

Solución nutritiva de partida

| | NO ₃ ⁻ | PO ₄ H ₂ ⁻ | SO ₄ ⁼ | CO ₃ H ⁻ | K ⁺ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ |
|--------|------------------------------|---|------------------------------|--------------------------------|----------------|------------------|------------------|
| mmol/l | 11,7 | 3,7 | 4 | 0,5 | 6,9 | 5,8 | 3 |

Fertilización carbónica

El aporte de CO₂ en el ensayo se ha realizado inyectando gas de uso alimentario suministrado por CARBURROS METÁLICOS SA. La composición del gas es dióxido de carbono 100% (con una pureza del 99,9%).

Esto requiere una instalación sencilla, que consiste en un bloque de gas con un regulador de presión, una válvula y la conexión al controlador con una sonda para su activación automática. La distribución se lleva a cabo con un sistema de tuberías de riego convencional (tubería de PE de Ø16cm con gotero incorporado).

Pautas de fertilización carbónica:

Se ha activado la inyección con objeto de mantener una concentración de 800 ppm de CO₂. Se ha llevado a

calidad y tecnología...

... al servicio de la agricultura bajo abrigo



ULMA invernaderos

Con más de 30 años de experiencia
presente en más de 50 países

cabo la inyección de CO₂ por horario y los periodos de inyección han incluido tanto el día como la noche durante el cultivo de primavera, si bien se ha eliminado la inyección en horas centrales del día para evitar pérdidas con ventana abierta. A partir de junio se ha mejorado el sistema para evitar la inyección en los momentos de ventana abierta a más de un 10%. Durante el cultivo de otoño se ha eliminado la inyección nocturna.



Bloque de gas con regulador de presión protegido en el exterior y electroválvula para la inyección automática a través del controlador climático en el interior del invernadero.



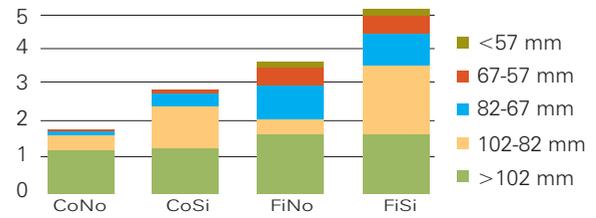
Ramal para la distribución de CO₂ en el cultivo.



Sondas de CO₂, T^a y HR

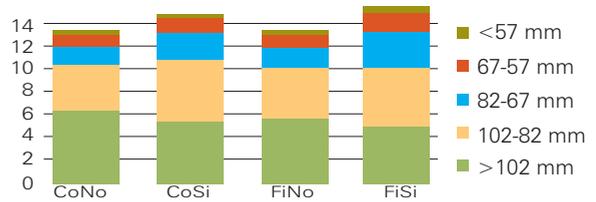
Cultivo de primavera

Producción (kg/m²) 12 de mayo



| | >102mm | 102-82mm | 82-67mm | 67-57mm | <57mm |
|------|--------|----------|---------|---------|-------|
| CoNo | 1,278 | 0,424 | 0,092 | 0,03 | 0,011 |
| CoSi | 1,317 | 1,17 | 0,341 | 0,115 | 0,035 |
| FiNo | 2,146 | 0,939 | 0,373 | 0,21 | 0,086 |
| FiSi | 1,745 | 1,908 | 0,885 | 0,506 | 0,19 |

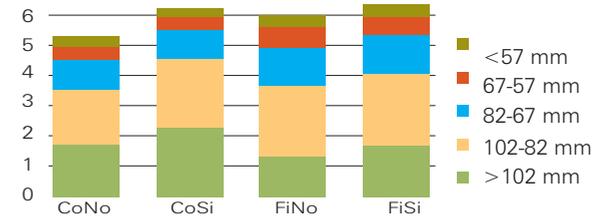
Producción (kg/m²) 25 de junio



| | >102mm | 102-82mm | 82-67mm | 67-57mm | <57mm |
|------|--------|----------|---------|---------|-------|
| CoNo | 6,448 | 4,019 | 1,606 | 1,071 | 0,372 |
| CoSi | 5,491 | 5,419 | 2,393 | 1,272 | 0,342 |
| FiNo | 5,783 | 4,433 | 1,806 | 1,155 | 0,354 |
| FiSi | 4,921 | 5,432 | 3,006 | 1,802 | 0,565 |

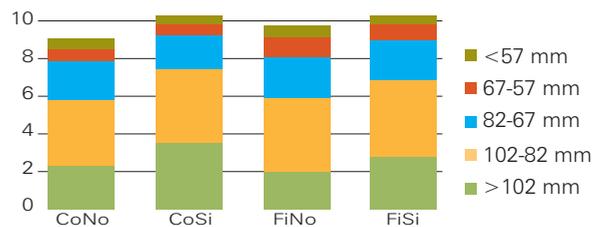
Cultivo de otoño

Producción (kg/m²) 30 de septiembre



| | >102mm | 102-82mm | 82-67mm | 67-57mm | <57mm |
|------|--------|----------|---------|---------|-------|
| CoNo | 1,703 | 1,791 | 0,998 | 0,455 | 0,337 |
| CoSi | 2,312 | 2,194 | 0,941 | 0,436 | 0,249 |
| FiNo | 1,345 | 2,297 | 1,223 | 0,708 | 0,355 |
| FiSi | 1,625 | 2,402 | 1,242 | 0,626 | 0,379 |

Producción (kg/m²) 4 de noviembre



RESULTADOS

Producción

Producción acumulada en las primeras semanas de cultivo y producción acumulada final distribuida por calibres.

| | >102mm | 102-82mm | 82-67mm | 67-57mm | <57mm |
|------|--------|----------|---------|---------|-------|
| CoNo | 2,399 | 3,845 | 2,121 | 0,768 | 0,489 |
| CoSi | 3,623 | 3,957 | 1,808 | 0,66 | 0,405 |
| FiNo | 2,071 | 3,978 | 2,195 | 1,128 | 0,559 |
| FiSi | 2,836 | 4,169 | 2,094 | 0,899 | 0,55 |

Consumo de CO₂

Durante el cultivo de primavera se han consumido 2.475 Kg de CO₂, lo que supone un consumo aproximado de 10.0 kg/m².

Durante el cultivo de otoño se han consumido 900 kg de CO₂, que suponen un consumo aproximado de 3,5 kg/m².

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Tanto en el cultivo de primavera como en el de otoño, se ha observado que el efecto del CO₂ en la productividad del cultivo ha sido significativamente positivo.

Durante el cultivo de primavera, en cuanto a precocidad, se ha obtenido un incremento de producción acumulada (hasta el 12 de mayo) de 62% y de 51% en plantas comerciales y en plantas de finca respectivamente. Las producciones se han ido igualando conforme avanzaba el cultivo, sin que se observen diferencias significativas entre variantes.

Durante el ciclo de otoño las diferencias de producción observadas entre variantes han sido menores. También la inyección de CO₂ ha sido menor. A diferencia de lo que sucede en el cultivo de primavera, durante el ciclo de otoño la inyección va de menos a más, al contrario que las necesidades de ventilación, la luz y la temperatura.

El incremento de producción acumulada en otoño en plantas comerciales ha sido del 16% durante las primeras semanas de recolección y del 13% en la producción acumulada final. En las plantas de finca el incremento productivo ha sido menor, del 6% en ambas fases, sin que haya diferencias significativas entre plantas fertilizadas y sin fertilizar en este caso.

El mayor precio de venta por calibre hace que el incremento de éste resulte de gran interés. En cuanto a este aspecto, en la comparación de producción acumulada de calibre superior a Ø82mm no se observan diferencias significativas en el cultivo de primavera pero sí en otoño en plantas comerciales. Éste resultado coincide con lo observado en trabajos anteriores para cultivos

hortícolas de pimiento (Savé y col. 1996; Muñoz y Guri, 2005) y de flor cortada (Muñoz y col. 2005).

Con la pauta de fertilización aplicada, los resultados obtenidos en primavera nos indicarían el potencial de incremento productivo, si bien con el sistema de inyección utilizado y los precios de mercado actuales no resultaría económicamente viable. Contar con fuentes de CO₂ más económicas cambiaría este aspecto, influyendo en la rentabilidad de la fertilización carbónica que dependerá siempre de los precios del tomate y del CO₂.

Probablemente se mejorarían estos resultados en el cultivo de primavera adelantando la plantación 2-3 semanas y buscando mayor precocidad, pero sabiendo que aumentaría el consumo de CO₂ y sería imprescindible optimizar las pautas de inyección evitando inyecciones con ventana abierta y durante periodos sin luz. En ambos cultivos podría resultar de interés realizar la fertilización durante algunas semanas de cultivo únicamente.

En cuanto al tipo de planta, contar con planta con la 1ª flor abierta en el momento de plantación, aporta una mejora de producción sobre todo en cuanto a precocidad en ambos cultivos. Las diferencias en este caso van reduciéndose conforme avanza el cultivo. La suma de ambos factores (planta y fertilización carbónica) mejora la respuesta productiva, obteniéndose en el caso de precocidad en primavera (producción acumulada hasta el 12 de mayo) un incremento productivo del 185%. El incremento en la producción final acumulada ha sido un 16% en primavera y un 14% en otoño. Lo cual en caso de poder contar con suministro de carbónico de bajo coste procedente de las centrales térmicas como las de IBERDROLA podría representar una importante mejora en la rentabilidad de nuestros invernaderos.

