

HERRAMIENTA IMPRESCINDIBLE PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN HORTÍCOLA DE CALIDAD

# Un nuevo sistema de gestión integral automática de cultivos en invernaderos hidropónicos



Cultivo plurianual de rosal en el que se ha implantado este sistema de control.

## ■ Dolores Roca y Pedro-Florián Martínez.

Departamento de Horticultura.  
Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.

**El Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) y la Universidad Politécnica de Valencia han creado y patentado un sistema de control automático para la gestión integrada del clima, el riego y la fertilización en los invernaderos. Esta línea de investigación ha sido financiada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA), el Ministerio de Educación y Ciencia (CICYT) y la Comisión Europea (con fondos FEDER). En el proyecto han trabajado conjuntamente durante siete años dos equipos de investigadores del Departamento de Horticultura del IVIA, y del Instituto de Automática e Informática Industrial de la UPV.**

**E**n la mayor parte de los invernaderos de las regiones hortícolas españolas, el control del clima se limita a tratar de amortiguar las condiciones extremas de temperatura, la humedad excesiva que produce condensación y goteo y la sequedad extrema que limita las posibilidades de crecimiento y desarrollo del cultivo. En la actualidad todo el mundo está convencido de que es necesario mejorar los medios técnicos, con el fin de controlar con más eficacia las condiciones de la producción, por ello se realizan inversiones económicas para construir mejores invernaderos en los que equipos e instalaciones hagan posible la regulación precisa del clima y el control automático de factores como el riego y la fertilización, a fin de que el cultivo produzca, en condiciones más favorables, un buen rendimiento y una mejor calidad. Los avances en la tecnología de los sensores, actuadores, autómatas programables y de los ordenadores y los sistemas de comunicaciones, cada vez más eficaces, fiables y baratos, favorecen sin lugar a du-

das esta evolución de la horticultura.

## Automatización integral del clima, riego y fertilización

El sistema permite al horticultor manejar eficazmente la información compleja de su sistema de producción, ayudándole en la toma de decisiones y permitiéndole automatizar de modo integral su invernadero (clima, riego y fertilización), particularmente en el caso de los cultivos hidropónicos. En su concepción se han utilizado técnicas de automatización y control basadas en redes industriales, a través de las cuales se han aplicado estrategias de control climático y modelos matemáticos de gestión del riego y la fertilización en función de parámetros climáticos y de crecimiento de la planta.

### Sistema de control

El sistema de control implantado en el invernadero está constituido por cuatro subsistemas (**figura 1**):

- BUS de campo, que comunica el autómata programable (PLC) con los sensores (de temperatura, humedad relativa, etc.), mandando por

el BUS de campo la información digitalizada al PLC y asimismo envía las órdenes de éste y las ejecuta sobre los sistemas de actuación (ventanas, nebulización, calefacción, etc.).

- El PLC que actúa como unidad de control, determina las actuaciones a realizar a partir de la información de todos los sensores y de la lógica de control.

- Finalmente, el ordenador personal (PC) que utiliza el interfaz gráfico de usuario (HMI) (figura 2), traslada la información del PLC al usuario y viceversa, además de realizar las funciones de servidor de internet. El PC ejecuta las tareas de interfaz de usuario (supervisión, establecimiento de consignas, alarmas, configuración, etc.), además del registro de la evolución de las variables en una base de datos.

Se han establecido diferentes bucles de control. Para todos ellos es posible actuar sobre cualquiera de los subsistemas en modo manual y automático. En modo manual el operario activa los actuadores sin necesidad de que la aplicación de control desarrollada intervenga. En modo automático es la aplicación de control que integra los programas y algoritmos, la que gestiona el control del subsistema.

Los lazos de control más importantes con los que se ha dotado al sistema son:

- Humedad: se mide por medio de higrómetros y se actúa sobre la humedad mediante un equipo de nebulización de alta presión, ventiladores y regulación de la apertura de las ventanas.

- Temperatura: este bucle difiere según la estación del año y también entre el día y la noche. En condiciones de temperatura baja o por la noche, se hace uso de un equipo de calefacción por aerotermos, y en condiciones cálidas y secas se hace uso del sistema de ventilación, combinado con la nebulización.

- Otros bucles importantes son: el riego, la regulación de la temperatura del sustrato y la aireación de la solución nutritiva.

Para llevar a cabo estrategias de control complejas son necesarios modelos climáticos del invernadero. En ese sentido el sistema se ha probado con modelos existentes que han sido ajustados y validados con información real del invernadero.

## Suministro de la información

La aplicación almacena toda la información de las variables y genera ficheros históricos que se han organizado por ventanas temáticas de datos. Por lo tanto, el sistema suministra información en tiempo real y diferida al empresario hortícola sobre el estado de las variables que afectan a la producción y sobre el funcionamiento de los equipos y su grado de eficiencia. Esto le permite tomar con rapidez decisiones basadas en su experiencia y conocimientos que reconduzcan el manejo del sistema de producción o de cualquiera de sus componentes. Su accesibilidad remota por internet permite una visualización en tiempo real, así como el manejo y supervisión del sistema desde cualquier punto lejano.

Figura 1.

Esquema del sistema de control con los cuatro subsistemas básicos: Unidad de Control (PLC) que procesa la información recibida a través del canal de comunicación (BUS de campo) captada por los sensores (valores de entrada), toma decisiones y emite señales que se canalizan por el BUS de campo a los actuadores.

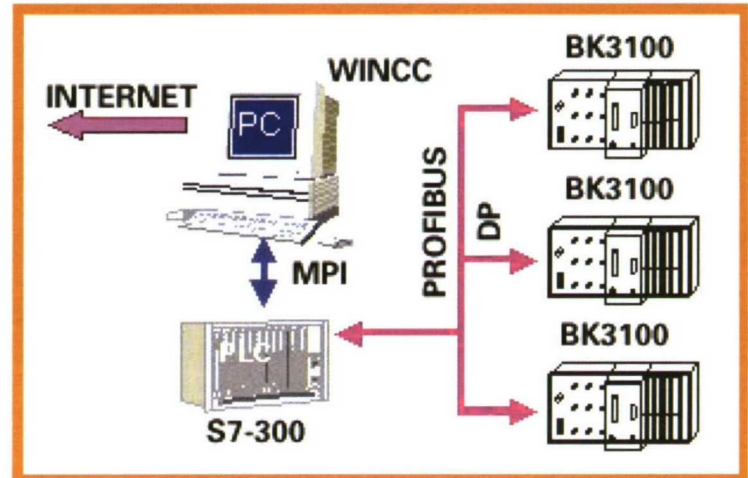


Figura 2.

Interfaz de usuario que se ofrece al operador.



El uso de internet hace posible gestionar con eficiencia un dispositivo de alarmas de protección contra posibles errores de funcionamiento de los equipos o desviaciones excesivas respecto a las consignas que puedan dar lugar a condiciones subóptimas para el cultivo, enviando mensajes de texto (SMS) a móviles, correos electrónicos, etc.

## Aplicaciones en un cultivo de rosal

Se ha desarrollado, aplicado y puesto a punto en un cultivo pluri-anual de rosal en producción continua en sistema hidropónico recirculante, bajo un invernadero de policarbonato equipado con ventilación cenital, nebulización de alta presión, calefacción por aerotermos y radicular y un conjunto de sensores: radiómetros, temperaturas del aire y radicular, humedad del aire, velocidad del viento y pluviometría, así

El sistema permite al horticultor manejar eficazmente la información compleja de su sistema de producción, ayudándole en la toma de decisiones y permitiéndole automatizar de modo integral su invernadero, particularmente en el caso de los cultivos hidropónicos



El invernadero utilizado para los ensayos es de policarbonato equipado con ventilación cenital, nebulización de alta presión, calefacción por aerotermos y radicular, y un conjunto de sensores.

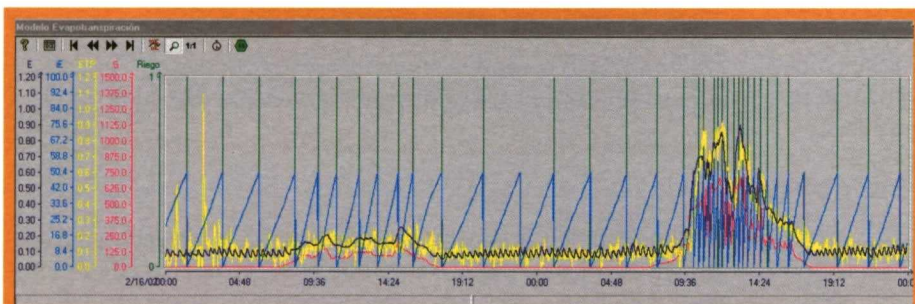
como de pH y conductividad eléctrica de la solución nutritiva y drenaje. Estos datos se registran en un sistema automático de adquisición cada 15 segundos.

## Gestión del riego

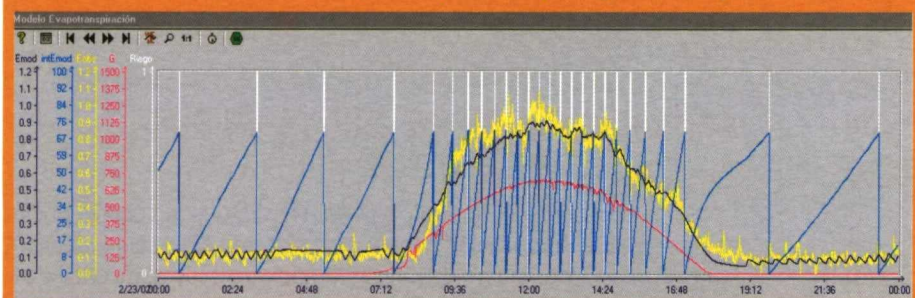
Para la gestión del riego se han implementado algoritmos específicos predictivos de las necesidades hídricas de la planta para cada situación climática y estado de crecimiento de las distintas que ocurren

## Figura 3.

**Las órdenes de riego (verde) vienen regidas por la transpiración estimada (E mod en azul oscuro). Obsérvense las órdenes de riego emitidas durante la noche o en días muy nublados con radiación (G en rojo) muy baja. El ajuste entre la transpiración estimada y la real (amarillo) es excelente.**



**Dos días consecutivos en invierno, uno muy nublado y el siguiente con periodos soleados.**



**Un día perfectamente claro, la curva de radiación (G en rojo) es limpia. El ajuste entre transpiración estimada y real es muy bueno.**

a lo largo del ciclo anual. El resultado se ha comprobado que es satisfactorio midiendo paralelamente la absorción hídrica real. Ejemplo de ello se muestra en la **figura 3**, en la que se observa, bajo tres condiciones climáticas diferentes, cómo se ajusta la transpiración estimada con la absorción real de agua por el cultivo. Las órdenes de riego vienen regidas por la transpiración estimada.

La mayoría de los cultivadores no riegan por la noche, pero nuestros resultados indican que la transpiración nocturna es significativa, (véase riegos nocturnos en la **figura 3**) en particular debido a la calefacción, alcanzando de un 24% del total de las 24 horas en un día despejado a un 46% en un día cubierto. Gracias al mejor ajuste que permite el sistema el suministro del agua se adapta muy bien a las necesidades reales del cultivo, con ahorros de agua hasta de un 50% frente a los sistemas tradicionales de control del riego.

El algoritmo utilizado de estimación de la transpiración, que representa la demanda hídrica de la planta, se basa en un modelo de Penman-Monteith simplificado, en el que intervienen como variables de entrada la radiación solar, el déficit de presión de vapor y una variable de crecimiento representada por el índice de área foliar (LAI), el cual se ha tipificado semanalmente a lo largo de todo el ciclo anual, en una plantación madura en plena producción.

Una característica ventajosa de este sistema descentralizado de control, radica en la sencillez con la que se pueden reconfigurar y añadir nuevos dispositivos, sensores y actuadores al sistema, e igualmente esto se puede extrapolar al caso de ampliación a nuevos invernaderos. La inversión por invernadero resulta menor a medida que aumenta su número.

## Control de la nutrición mineral

De igual modo, este diseño abierto del sistema permite la incorporación de nuevos programas y algoritmos, como por ejemplo los modelos estimativos de nutrición mineral basados en relaciones de estimación de absorción de cada macronutriente en función de parámetros fácilmente medibles, como son los climáticos o los que caracterizan de modo general la solución nutritiva, pH y CE por ejemplo, u otros indicadores para la detección precoz de situaciones de estrés. Estos constituyen los objetivos sobre los que se está trabajando en la actualidad. Ya se han obtenido modelos de estimación de demanda de nitrato a escala horaria en diferentes situaciones climáticas representativas del ciclo anual.

## Conclusiones

Un sistema como el que se describe puede facilitar la optimización del uso de recursos, tanto desde una perspectiva de sustentabilidad ambiental como económica. Por una parte, la gestión integral de las variables climáticas adecuándolas a las necesidades del cultivo en cada época estacional. Por otra, el control racional y la administración de los suministros hídricos y fertilizantes basados en las demandas reales del cultivo, es decir, el control del sistema de producción en su conjunto, es un arma eficaz para la prevención de enfermedades y plagas de los cultivos, pues aumenta las posibilidades de aplicar programas de lucha integrada y puede reducir la necesidad de tratamientos con plaguicidas químicos. Estos son objetivos ineludibles de la horticultura intensiva actual, para los que resulta indispensable disponer de las herramientas tecnológicas más avanzadas. ■