



Debido a la importancia de los sensores en el invernadero, este artículo analiza diferentes tipos, funcionamiento y algunas características básicas de los mismos.

Sensores para el control climático en invernadero

■ A. PERDIGONES, I. PERALTA, J. NOLASCO, M.A. MUÑOZ Y V. PASCUAL

Dpto. Ingeniería Rural & Dpto. Producción Vegetal: Fitotecnia. UPM

El control climático en invernaderos es posible gracias al uso de sensores capaces de medir diferentes variables climáticas: temperatura, humedad, radiación solar, velocidad y dirección del viento, concentración de CO₂, precipitaciones, etc. Un sensor es un dispositivo que produce una señal utilizable en función del valor de una magnitud física, propiedad o condición específica que se desea

medir. Cada medida debe ser registrada y manejada por el personal de la explotación a través de un controlador u ordenador, de forma que el propio usuario pueda verificar y modificar las consignas según las condiciones climáticas requeridas en cada momento.

Sensores de temperatura

- **Resistencias metálicas.** La resistencia eléctrica de un con-

ductor metálico aumenta con la temperatura, por lo que es posible realizar sensores metálicos de temperatura siempre que se puedan relacionar fácilmente las respectivas variaciones. Las resistencias metálicas más comunes son las de platino (sensores Pt100), con un valor de 100 ohmios a 0°C y 138,5 ohmios a los 100°C.

El cambio de resistencia se mide con un circuito eléctrico que

consiste en un elemento sensitivo, una fuente de tensión auxiliar y un instrumento de medida.

Su rango de medida suele ser de -40 a 60 °C, con una precisión de 0,1°C. Una ventaja de las sondas Pt100 a cuatro hilos es que la distancia entre sensor y sistema de adquisición de datos no influye en la medida. Esto es una ventaja en invernaderos, ya que el sensor puede estar a 20 ó 30 m de distancia respecto al cuadro de medida.

- **Termistores.** Algunos materiales semiconductores modifican su resistencia eléctrica en función de la temperatura. Existen dos tipos: termistores de resistencia negativa (NTC), en los que la resistencia eléctrica decrece al aumentar la temperatura, y los de resistencia positiva (PTC), en los que la resistencia eléctrica crece al aumentar la temperatura.

- **Termopares.** Un termopar suministra una señal de tensión eléctrica que depende directamente de la temperatura; a diferencia de las termoresistencias, no necesitan una fuente de alimentación externa para su funcionamiento. Se basan en el efecto Seebeck: cuando dos conductores metálicos de materiales distintos se unen en un punto, aparece una fuerza electromotriz si la temperatura en ese punto de unión es diferente a la temperatura medida en los extremos libres de ambos metales.

Los termopares responden más rápido a los cambios de temperatura respecto a las termoresistencias, pero la precisión en la medida es inferior. En el rango habitual de temperaturas en inver-

El control climático en invernaderos es posible gracias al uso de sensores capaces de medir diferentes variables climáticas: temperatura, humedad, radiación solar, velocidad y dirección del viento, concentración de CO₂, precipitaciones, etc.

naderos es conveniente emplear termopares tipo T (Cu-CuNi) para mejorar la precisión en la medida.

Sensores de humedad

- **Higrómetro de cabello.** Son higrómetros convencionales que se basan en la propiedad de algunos materiales de presentar diferente elasticidad con la humedad. Este material se une a un muelle en tensión que modifica la posición del cursor de un potenciómetro. Midiendo la resistencia entre el cursor y un extremo del potenciómetro se conocerá la HR del ambiente. Sin embargo, su uso en invernaderos no es adecuado por sus limitaciones en el rango de medida.

- **Psicrómetro.** Se basa en la medida de las temperaturas de un termómetro seco y un termómetro húmedo. El primero determina la temperatura del ambiente y el segundo marca una temperatura diferente a la anterior, ya que va en función de la cantidad de agua evaporada y, por tanto, de la presión relativa del vapor de agua en la atmósfera.

Unas tablas de conversión de diferencia de temperaturas en la

presión relativa del vapor de agua, en forma de tanto por ciento de humedad, permiten llevar a cabo la medida de la HR del ambiente. La desventaja es que hay que mantener permanentemente húmeda la mecha del segundo termómetro.

- **Sensores capacitivos.** Formados por dos electrodos entre los que se encuentra un polímero higroscópico sintético (dieléctrico). Este material puede absorber el agua en el aire, de manera que la capacidad del sensor varía linealmente con la HR. Al aumentar la humedad del aire también lo hace la capacidad del sensor capacitivo. Su principal inconveniente es que a humedades altas (100% HR) el dieléctrico se satura y tarda en volver a medir correctamente si no se encuentra bien ventilado. Actualmente son los más recomendados por sus grandes ventajas, fundamentalmente porque se pueden conectar fácilmente a equipos de control automático.

- **Higrómetro óptico de punto de rocío o sensor de espejo enfriado.** Considerado el método más preciso de medición del punto de rocío. Contiene un pequeño espejo metálico cuya superficie es enfriada hasta que el agua de la muestra de gas condense. El espejo es iluminado por una fuente de luz y su reflexión es detectada por un fototransistor. Cuando la condensación se produce, la luz reflejada sufre una dispersión, disminuyendo la intensidad captada por el detector. Un sistema de control se encarga de mantener la temperatura del espejo para mantener una

Empresas internacionales relacionadas con sensores para control climático en invernaderos

- Thiesclima: www.thiesclima.com
- Lufft: www.lufft.de
- Control Llevant I.C.: comercial@sensovant.com, www.ctv.es
- Wika: www.wika.es
- Progres-Spain: www.progres-spain.com
- SIR, S.A.: www.sirsa.es
- Instrumentos de Medida: www.idm-instrumentos.es
- Ortrat: www.ortrat.es
- Casella España: www.casella-es.com
- Toscano: www.tei.es
- Grafinta: www.grafinta.com
- Vaisala: www.vaisala.com
- Kipp & Zonen: www.kippzonen.com
- Hukseflux www.hukseflux.com
- Skye Instruments Ltd: www.skyeinstruments.com
- Campbell Scientific: www.campbellsci.co.uk
- Honeywell: www.honeywell.com
- Licor: www.licor.com
- Hanna instruments: www.hannainst.com

delgada capa de condensación; una termorresistencia embebida en el espejo mide su temperatura y la temperatura del punto de rocío. La precisión en la medida es muy alta, pero su desventaja es su elevado coste y la necesidad de precisión en la medición.

Sensores de radiación

- **Piranómetro.** Se usa para medir la radiación solar global en unidades de energía (W/m^2). Un sensor de este tipo suele medir en un campo entre 0 y $1500 W/m^2$, y en el rango espectral entre 300 y 2800 nm. Algunos están basados en un detector fotovoltaico cubierto por una protección de aluminio anodizada.

El sensor puede ser una termopila, de manera que la radiación es absorbida y convertida en calor. Ese flujo de calor es inducido por una diferencia de temperatura a lo largo de la termopila. Las termopilas producen un volta-

je de salida cuando la temperatura de sus uniones activas es superior a la de los contactos de referencia, siendo su configuración la de termopares conectados en serie.

Las termopilas utilizadas para detección de flujo radiante tienen sus contactos de referencia en contacto térmico con bloques metálicos termostatzados de gran inercia térmica, mientras que las uniones sensibles se instalan muy aisladas de la zona de referencia y bien expuestas a la radiación.

Cuando se conoce la temperatura de referencia se puede determinar el flujo radiante mediante la diferencia térmica entre las uniones activa y fría. La radiación solar calienta la zona oscura, a la que están conectadas las uniones sensibles, y la termopila produce un voltaje en función de esta temperatura, que es a su vez, función de la radiación incidente.

El piranómetro es el sensor adecuado para medir energía inci-

dente para la evaluación energética de un sistema, por ejemplo en invernaderos o en paneles solares.

- **Luxómetro.** El luxómetro mide luz visible por el ojo humano, por lo que no es adecuado para invernaderos, pero a veces se utiliza como piranómetro usando tablas de conversión.

- **Sensor quantum.** Mide la radiación PAR (radiación fotosintéticamente activa: 400-700 nm). Ésta se puede medir como unidades de energía (W/m^2) o como densidad del flujo de fotones fotosintéticos, cuyas unidades son quanta (fotones) por unidad de tiempo y de superficie. La unidad más habitual es el micromol de quanta por seg. y m^2 ($mmol \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$). Al mol también se le llama Einstein (E).

$$1 \text{ mmol} \cdot s^{-1} \cdot m^{-2} = 1 \text{ mE} \cdot s^{-1} \cdot m^{-2} = 6.02 \times 10^{17} \text{ fotones} \cdot s^{-1} \cdot m^{-2} = 6.02 \times 10^{17} \text{ quanta} \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$$

Formado por un detector fotovoltaico (fotodiodo) cubierto de

COMERCIAL TÉCNICA Y VIVEROS, S.L.
OLIVO PROPAGADO "IN VITRO"

- Plante en cualquier época del año
- Total garantía sanitaria
- Planta clonada "In Vitro"

Varietades:

- Alfarenca
- Arbequina
- Cornicabra
- Empeltre
- Frantoio
- Hojiblanca
- Manzanilla
- Picual
- Serrana

Arbequina In Vitro

Ctra. Nacional 340, Km. 873,5 • 46250 l'Alcudia
Tel.: 962 541 911 • Fax: 962 996 675 • Móvil: 610 251 789
E-mail: comercial@cotevisa.com

www.privanutricontrol.com

Las mejores Soluciones

Riego

Mithra Hidro, Mithra Hidro Radiación, Mithra Hidro Bandeja Inteligente, Mithra Hidro Volumen, Mithra Hidro Carros, Equipos de Fertilización Nutrimac, Mastia Visualizador, Mastia Control pH, Mastia Control pH y CE, Mastia Mezcla, Mastia Configurable, Mastia Diesel, Mastia Filtras, Micro Filtras y Micro Diesel.

Clima

Mithra Clima, Mastia H, Mastia VS, Mastia VH, Mastia VHR y Micro Alarma.

Línea Priva

Priva Intégro, Priva Maximizer, PrivAssist, Tratamiento de Aire, Quemadores / Generadores de CO2, Vielux, Medidores Priva, Ringmaster, Sensores, Sondas y Accesorios.

PRIVA NUTRICONTROL IBERICA
Pol. Ind. Cabezo Beaza, C/ Bucanet, 26
Apdo. 2035, 30085 Cartagena (MURCIA-SPAIN)
Tel. +34 968 123 900 • Fax +34 968 320 082
E-mail: privanutricontrol@privanutricontrol.com • www.privanutricontrol.com

protección de aluminio anodizada. Se usan filtros de cristal de colores para limitar la radiación que detecta en el rango correspondiente a la radiación PAR. Existe una relación entre nº de moléculas que cambian fotoquímicamente y nº de fotones absorbidos dentro de determinado rango de energía fotónica.

Los fotodiodos se basan en materiales semiconductores. Su resistencia varía en función de la luz incidente, de forma que la corriente aumenta según aumente el flujo luminoso. Toda radiación incidente absorbida produce pares electrón - hueco que se acumulan en diferentes zonas, produciendo una diferencia de potencial entre ellas (voltios). El sensor quantum o de radiación PAR no es habitual en invernaderos comerciales, pero sí en invernaderos de investigación, ya que mide específicamente la radiación aprovechada para la fotosíntesis de las plantas.

El piranómetro es el sensor adecuado para medir la energía incidente y realizar de este modo una evaluación energética de un sistema, por ejemplo en invernaderos o en paneles solares

Sensores de velocidad y dirección del viento

- *Anemómetros de cazoletas.*

Las cazoletas semiesféricas unidas a un eje giran impulsadas por las corrientes de aire, de forma que la velocidad del viento se convierte en el giro de dicho eje. Para convertirlo en señal eléctrica se suele usar como eje de giro el eje de una dinamo tacométrica o alternador.

Al girar por la acción del viento, la dinamo genera una tensión (voltios) proporcional a la velocidad del viento. El sensor

necesita un valor mínimo de velocidad del viento para funcionar, normalmente entre 0,5 y 1 m/s. Este tipo de anemómetros son muy utilizados y recomendables para medir la velocidad del viento en el exterior del invernadero, generalmente con un rango entre 1,5 y 50 m/s.

- *Anemómetros de hilo caliente.* Pueden utilizarse para medir la velocidad del viento en el interior del invernadero, ya que permiten medir velocidades pequeñas (< 0,5 m/s). Generalmente su uso está limitado a la investigación en relación con estudios sobre ventilación. Se basan en evaluar el enfriamiento que se produce en una resistencia introducida en el torrente de un fluido. Si se hace pasar por ella todo el flujo del fluido (aire), ésta se enfriará proporcionalmente a la velocidad de ese fluido.

- *Veletas.* Para determinar la dirección del viento en el exterior.

Con vocación de servir



PLAST-TEXTIL, S.L. ofrece una amplia gama de productos al servicio de la agricultura y horticultura:

- **Mallas sombreo:** agrotexiles de protección solar. Gama que ofrece protección a partir del 30% hasta el 90%
- **Mallas antigranizo**
- **Mallas protección lluvias, escarcha y heladas**
- **Mallas antitrip:** agrotexiles de protección frente a insectos
- **Malla suelo:** agrotexiles para el revestimiento del suelo
- **Mallas cortavientos:** agrotexiles protección viento y salinidad
- **Mantones:** agrotexiles para la recolección de frutos -almendra, aceituna, etc.-, con una extensa gama de tamaños.



Polígono Industrial, s/n - 46869 ADZANETA DE ALBAIDA (Valencia) - Spain
 Tels.: +34-96 235 90 01 / 235 90 05 / 235 70 17
 Fax: +34-96 235 70 57
 e-mail: info@plastextil.com - http://www.plastextil.com





Formadas por un brazo que gira sobre un eje vertical al que se incorpora un deflector. Cuando existe una corriente de aire, el viento ejerce una presión sobre el deflector que hace que el brazo gire y el extremo señale la dirección de donde procede el viento.

Igual que en los anemómetros de cazoletas, la variación de la posición del brazo o eje se convierte en una magnitud eléctrica. Un método muy empleado es el potenciómetro. El eje vertical sobre el que gira el brazo de la veleta se conecta a un potenciómetro

de precisión, de forma que la señal de salida de este potenciómetro es proporcional al ángulo que la veleta forma con el norte.

Sensores de concentración de CO₂

Los más utilizados son los analizadores de gases en el infrarrojo (IRGA). Se basan en el poder de absorción de la radiación infrarroja del CO₂. El método más extendido consiste en introducir en una cámara de medida la

muestra de CO₂ a analizar utilizando un circuito con electroválvulas y bombas inyectoras. Un emisor (generalmente de tungsteno) introduce radiación infrarroja en la cámara. El CO₂ la absorbe y se produce un cambio de presión en la cámara de medida. Un micrófono (sensor acústico) detecta esta variación. A mayor cantidad de CO₂, mayor diferencia de presión.

En el otro lado de la cámara hay dos detectores de luz cubiertos por dos filtros de diferentes propiedades. Uno de ellos sólo deja pasar la luz en la longitud de onda, donde se conoce que el CO₂ es capaz de absorber luz. El pequeño cambio de intensidad de luz causado por la concentración de CO₂ se mide mediante un detector y se convierte en la medida correspondiente de concentración de CO₂ gracias a un microprocesador incorporado.

El segundo sirve de referencia para comprobar que no se han



Antigranizo



Anti-áfidos



Cortaviento

Creada en el 1936, ARRIGONI SPA produce mallas de alta resistencia y calidad, en sus unidades productivas en Italia. La experiencia, unida a la continua búsqueda técnica, extrusión de monohilo o de film primario, extrusión de cinta o rafia, tejido en hilo plano y raschel, ha llevado la firma a ser líder del sector.

Mallas antigranizo, sombreadoras, cortaviento, anti-pájaros, anti-áfidos, producidas para satisfacer las crecientes exigencias de la agricultura moderna. Hoy como ayer, ARRIGONI es sinónimo indiscutible de calidad en todo el mundo.

MALLAS DE ALTA RESISTENCIA PARA LA PROTECCIÓN DE LOS CULTIVOS



HTN
ARRIGONI
ELEN ALCONGILITON

TECHNICAL PROTECTION TEXTILES

ARRIGONI

1936

ARRIGONI SpA
I-22029 Uggiate Trevano (CO)
Tel. ++39 031 803281 Fax ++39 031 803206
Info@arrigoni.it www.arrigoni.it

producido errores en la medida. El elemento sensor es el más caro del conjunto, por lo que con frecuencia se pone un solo sensor que mide en varios puntos del invernadero, muestreando sucesivamente en cada punto.

Sensores de lluvia

- **Pluviómetro.** Medidor de precipitación líquida que transforma la cantidad de lluvia en pulsos eléctricos, correspondiendo generalmente cada pulso a 0,1 ó 0,2 mm (según tipo de pluviómetro) de precipitación. Se pueden encontrar de diferentes volúmenes.

- **Sensores de detección de lluvia.** No miden la cantidad de agua como los pluviómetros, sino que detectan la presencia o no de lluvia. Las gotas de lluvia serán las responsables de cerrar el circuito electrónico (en general, una placa impresa de cobre) que lleva el sensor para dar la señal correspondiente. Su principal aplicación

para invernaderos consiste en poder conectar o desconectar un dispositivo (por ejemplo el motorreductor para abrir o cerrar las ventanas) en función de la presencia o no de lluvia. También se puede utilizar para detectar la presencia de condensación.

- **Cajetín de medida.** Altos niveles de radiación solar y bajas velocidades de aire en el interior del invernadero provocan alteraciones en las medidas de temperatura y humedad. Debido a esto, es una práctica común en Holanda proteger los sensores en un cajetín ventilado, de aproximadamente 0,2 m de ancho y 0,3 m de alto.

En la parte alta del cajetín se monta un ventilador que proporciona una corriente de aire superior a 2 m·s⁻¹ alrededor del sensor para favorecer la disipación de calor y evitar que el sensor se caliente demasiado. Los sensores capacitivos no requieren un mínimo de velocidad de viento, pero

se debe evitar el estancamiento del aire a su alrededor.

El cajetín tiene una doble pared y una capa de material reflectante en el exterior. Así, la radiación y variaciones de los movimientos de aire en el interior del invernadero no afectan a las mediciones de los sensores. El cajetín se puede colocar a una altura representativa, por ejemplo en el punto de crecimiento del cultivo o en el lugar donde el índice de área foliar sea mayor. Se pueden usar dentro y fuera del invernadero.

Para saber más...

- Universidad Wageningen: Greenhouse climate control. 1995. Horticom Bookshop. Ref.: 2011
- Serrano Cermeño, Zoilo: Construcción de invernaderos. 2002. Horticom Bookshop. Ref.: 665
- Nelson, Paul: Greenhouse operation and management. 1998. Horticom Bookshop. Ref.: 473

FERTIRRIGACION

ELECTROFERTIC

Bomba dosificadora eléctrica de gran capacidad de inyección, alta presión y regulación electrónica



CONTROLADORES

Controladores de Fertirrigación
Regulación de pH y EC
Dosificación proporcional



AGITADOR DE TURBINA

Agitación por turbina direccional



MULTIFERTIC

Bomba dosificadora eléctrica modular de inyección independiente



FP10

Bomba dosificadora volumétrica proporcional



FERTIC

Inyector hidráulico para la incorporación de abonos líquidos o solubles en la red de riego



Especialistas en Fertirrigación

Mar Adriático, 4 - Pol. Ind. Torre del Rector / P.O. Box 60
Tel. 34-935 443 040 / Fax. 34-935 443 161
08130 SANTA PERPETUA DE MOGODA (Barcelona) SPAIN
8092 N.W. 67th. Street / MIAMI (FL) 33166 USA
Tel. 1-305 599 3781 / Fax. 1-305 599 8794
e-mail: itc@itc.es
WEB PAGE: http://www.itc.es