

Degradación de la transparencia del plástico en cubiertas de invernadero

El estudio se realiza mediante un sistema informático de adquisición de datos y monitorización de procesos

El crecimiento de las plantas autótrofas está directamente relacionado con la intensidad de luz, que hace posible el proceso de la fotosíntesis que transforma el dióxido de carbono (CO_2) y el agua en los hidratos de carbono necesarios para el crecimiento de las plantas.

La radiación es imprescindible para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. En sentido estricto, es apropiado describir la energía radiante como un determinante de la producción. J.N. Gallagher y P.V. Biscoe (1978) deducen que la tasa con la que un cultivo acumula materia seca durante la fase inicial de crecimiento es proporcional a la radiación absorbida por el dosel vegetal.

Estudios de intercambio gaseoso de hoja, planta y dosel vegetal han manifestado claramente como la asimilación de CO_2 varía en función de la intensidad de luz absorbida.

El 45% de la radiación directa que llega a la tierra está dentro del rango de las longitudes de onda fotosintéticamente activas (400-700 nm) y el valor medio de la propagación de radiación PAR directa y difusa es aproximadamente de un 50% (Jones, H.G. 1983). Las hojas absorben por término medio entre el 80% y el 85% de la luz incidente comprendida entre 400 y 100 nm de longitud de onda, gran parte de la radiación absorbida es reflejada.

En un cultivo protegido, la geometría y el material de cubierta modifica la cantidad y las características de la radiación que incide sobre el cultivo. Un porcentaje, que puede ser superior al 30%, de la cantidad de luz recibida diariamente se reduce por la propia estructura del invernadero, humedad relativa, concentración de CO_2 , agua y nutrición mineral (Koning, A.N.M., 1989; Warren-Wilson, J. et al., 1992). La transmisión de radiación a través de una cubierta en un momento dado depende fundamentalmente del ángulo de incidencia de la radiación sobre la superficie de la cubierta, de la propagación de los componentes (directa-difusa) (Harnett et al., 1979, Sherry, W. J. y Goldberry, K.L., 1980) y de las características

Trabajo realizado con un sistema informático de adquisición de datos y monitorización de procesos, con objeto de estudiar la degradación de la transparencia del plástico a lo largo de 1998. Se ha encontrado que, al final de este periodo de tiempo, el film aumenta la radiación absorbida hasta 215,22 W.h/m², lo que se traduce en una disminución de la radiación que incide sobre el cultivo, repercutiendo en una bajada considerable de la producción.

J.F. Sanjuan Estrada⁽¹⁾, E. Garzón Garzón⁽²⁾ y R. Bonachera Villegas⁽³⁾. ⁽¹⁾ Fundación para la Investigación Agraria de la Provincia de Almería (FIAPA). ⁽²⁾ Dpto. Ingeniería Rural. Univ. de Almería. ⁽³⁾ Dpto. Derecho Público. Univ. de Almería.

propias del material de cubierta.

La transmisividad de la cubierta es un parámetro sujeto a variación continua inducida por:

- Variación de la posición solar que modifican el ángulo de incidencia de la radiación sobre la cubierta a lo largo del día y de la estación anual. La adecuación de la geometría de cubierta para mejorar el ángulo de incidencia de la radiación es una estrategia que permite me-

jor aprovechamiento de la radiación posible.

- Progresiva acumulación de polvo y suciedad. Este efecto repercute más en días secos de escasa pluviometría.

- Y, por último, evolución de las características del material de cubierta a lo largo del tiempo, el envejecimiento es muy patente cuando se trata de cubiertas de plástico. El progreso del deterioro se ve influido por las condiciones climáticas.

Las estimaciones de pérdidas de producción varían entre el 0,5 al 3,1 % por cada 1% de reducción de luz (Verhaegh, A.P., 1981; Cocks-hull, K.E., 1988). En un cultivo de tomate, se obtuvo que pérdidas del 1% de luz corresponden a pérdidas del 1% de producción; los resultados evidencian la necesidad de maximizar la transmisión de luz en los invernaderos (B.J. Bailey y A. Hunter, 1988). Por tanto, queda demostrado que en la transmisión de la radiación es el tipo y estado de la cubierta el factor que más influye, y, en el caso de Almería, ésta es, generalmente, de plástico.

I. Metodología de evaluación

Los datos analizados proceden de sensores situados en las instalaciones del Centro Tecnológico situado en la Cañada de San Urbano (Almería), en un invernadero experimental (sin cultivo) de estructura tipo parral con orientación este-oeste y de una subestación meteorológica exterior instalada a 2 metros de

altura. Sobre la cubierta de dicho invernadero se fueron colocando distintos tipos de plásticos. Para hacer una comparativa y extraer unos resultados lo suficientemente fiables y representativos, se tomaron como referencia las medidas de los sensores, de esas mismas variables climáticas, ubicados en la subestación meteorológica exterior.

En el Centro hay instalado un sistema de adquisición de datos con el objetivo de obtener la información necesaria para estudiar el comportamiento de los distintos plásticos ubicados en el invernadero experimental, así como de otros



invernaderos situados en el mismo lugar.

Para obtener valores de las variables climáticas en estudio en todos los plásticos del invernadero experimental, se ha realizado una rotación periódica de los sensores de radiación en dirección este-oeste en la misma línea de radiación, a 20 centímetros del plástico.

Se ha desarrollado una herramienta informática en la que los datos almacenados que proceden directamente de los sensores sufren un tratamiento posterior en dos sentidos:

- Validación de datos. Un conjunto de criterios establecidos permite la validación automática de la información recibida, detectando los errores y corrigiéndolos si se conoce la causa. Estos datos son la base de los resultados obtenidos.

- Explotación de datos. A partir de los datos validados se pueden obtener tablas y diagramas que describen el comportamiento de las distintas variables climáticas.

Un invernadero de estructura tipo parral se ha cubierto con diferentes tipos de plástico. Tiras de plástico de 110 cm de anchura han sido dispuestas a lo ancho del invernadero, en dirección norte-sur. Sobre la cubierta de dicho invernadero experimental se colocaron distintos tipos de plástico. Con el objetivo de realizar una evaluación de la degradación que sufren, se mantiene el invernadero sin cultivo, para conseguir crear un clima interior lo más severo posible (elevadas temperaturas y baja humedad). Por otro lado, se realizan periódicamente una serie de tratamientos fitosanitarios sobre los plásticos con productos químicos típicamente empleados en la agricultura para el con-

CUADRO I. TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS SOBRE LOS PLÁSTICOS

TRATAMIENTOS	MÉTODO	TEMPORALIZACIÓN
Permitrina	Pulverizado de la cubierta interior	Quincenalmente
Metam sodio	Inundación del suelo	Semestralmente

trol de plagas y enfermedades (**cuadro I**). De esta forma, se puede estudiar el efecto que producen estos tratamientos en la degradación del plástico de un invernadero.

I.1.- Sistema de adquisición de datos

Los datos analizados proceden de sensores de radiación situados en un invernadero experimental de estructura plana tipo parral con orientación este-oeste, una dimensión de (45 m x 12 m), sin cultivo, sin ventilaciones, muy próximos al plástico, y de una subestación meteorológica exterior instalada a 2 metros de altura que se toma como referencia.

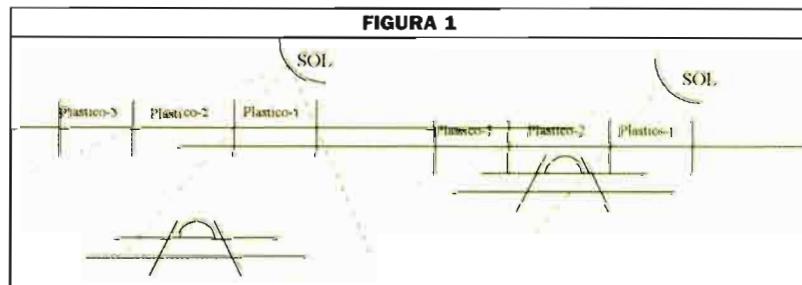
Una vez estudiadas las características del entorno en el que se van a efectuar las medidas, se observa que es un medio desfavorable para la utilización de equipos electrónicos. Se alcanzan condiciones extremas de temperatura y humedad, además de estar expuestos a productos químicos y a fuentes de ruido e interferencias electromagnéticas, por lo que se establecieron unos requisitos mínimos que deberían de cumplir los elementos que van a componer en

el sistema de adquisición. Los referentes a radiación se exponen en el **cuadro II**.

El equipo que se está utilizando para la adquisición de datos consiste en un ordenador PC-Compatible, con una tarjeta de adquisición (convertidor ana-

lógico/digital) y un chasis al que se incorporan las tarjetas multiplexoras-adaptadoras de señal que sean necesarias. Este equipo es modular y por ello se puede ampliar el número total de canales de medida (hasta 90 canales) pudiendo incorporar nuevos invernaderos al sistema de adquisición o incorporar un número superior de sensores a un invernadero para su estudio exhaustivo.

La herramienta software para el desarrollo del sistema de adquisición de datos y de aplicaciones de monitorización y control de procesos es LabVIEW, de National Instruments. Es una herramienta de programación gráfica orientada a objetos que permite desarrollar aplicaciones en tiempo real. Este kit de desarrollo ofrece aplicaciones destinadas a control del instrumental de adquisición, control de la adquisición de datos, análisis y presentación de las medidas. La plataforma de desarrollo de este producto es Windows para PC.



CUADRO II. REFERENTES DE RADIACIÓN

Variable Climática	Rango y Precisión	Sensor	Ventajas	Inconvenientes
Radiación P.A.R.	380-780 nm. < 5% (20°C)	Fotodiódos	<ul style="list-style-type: none"> • Se ajustan al rango requerido • Muy sensibles • Rapidez de respuesta • Pasivos • Precio bajo/medio 	<ul style="list-style-type: none"> • Le afectan ruidos y perturbaciones
Radiación Global	0,3-3 µm <5 % (20°C)	Termoelementos	<ul style="list-style-type: none"> • Se ajustan al rango requerido • Pasivos • Muy estables 	<ul style="list-style-type: none"> • Proporcionan señales muy bajas (0-20 mV.) • Respuesta lenta • Precio medio/alto
Radiación Neta	0,3-60 µm <5 % (20°C)	Termoelementos	<ul style="list-style-type: none"> • Se ajustan al rango requerido • Pasivos • Muy estables 	<ul style="list-style-type: none"> • Proporcionan señales muy bajas • Proporciona señales tripolares • Precio alto

- Sensores en la estación meteorológica exterior:
 - 2 sensores de rad. Global (a 2 y 10 m)
 - 2 sensores de rad. P.A.R. (a 2 y 10 m)
 - 1 sensor de radiación Neta (a 1 m de altura)
 - 1 sensor de temperatura (a 2 m de altura)
 - 1 higrotermosensor (a 2 m de altura)
 - 2 veletas (a 5 y 10 m de altura)
 - 2 anemómetros (a 5 y 10 m de altura)

- Sensores en el invernadero experimental:
 - 3 sensores de radiación Global
 - 3 sensores de radiación P.A.R.
 - 2 sensores de temperatura
 - 1 higrotermosensor (humedad y temperatura)



Subestación a 5 y 10 metros de altura.

El programa de adquisición de datos consta de una pantalla principal de presentación, con una serie de botones que permiten seleccionar cada uno de los invernaderos en estudio que hay en el Centro, entre ellos, el invernadero experimental de estructura plana y la estación exterior. Permite variar la velocidad de muestreo y la configuración de la adquisición de datos, que se realiza de forma continua, sin utilizar buffer, pues se almacenan todos los datos leídos a la velocidad de muestreo seleccionada (1 muestra cada 10 seg).

Observando el plano del invernadero experimental de estructura tipo parral, cabe destacar que los sensores de radiación están situados sobre la línea que dista del borde sur 6 m y a una altura de 3 m, muy próximos al plástico. La razón principal de colocar los sensores a esta altura y muy cercanos al plástico es para medir exactamente la radiación que traspasa o que absorbe este material, para que no se vean afectados por reflexiones en el interior del invernadero o por la radiación que capte la masa de aire interior; cuanto más próximos al plástico, habrá menos influencia de los adyacentes (fig. 1). Esto tiene el problema de que la superficie del film esté muy sucia y la medición pueda ser errónea en algún momento.

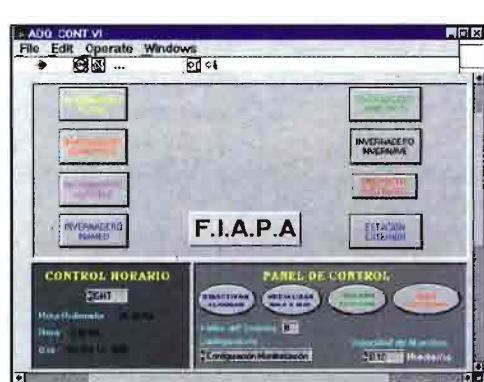
I.2.- Sistema de validación de datos

Una vez instalados todos los sensores, nos disponemos a estudiar la respuesta de los mismos, validando sus medidas y preparándolos para su explotación e interpretación.

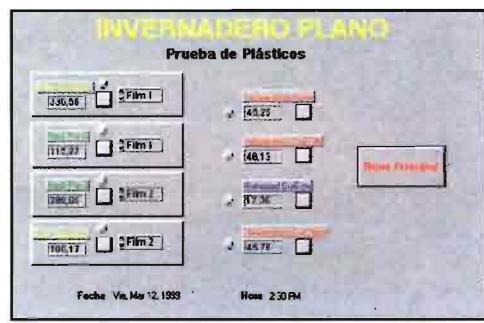
Podemos distinguir dos procesos de validación. El más sencillo, consiste en una alarma visual en tiempo real de una medida errónea, cuya única función es informar de que la muestra está fuera de unos valores límites establecidos que dependen de cada tipo de sensor; dicho dato no se corregirá y será almacenado para que quede constancia de qué tipo de error se ha producido. El segundo proceso de validación es una herramienta software que consiste en pasarle a los ficheros de datos ya cerrados una cascada de filtros en un orden establecido, detectando una serie de errores, corrigiéndolos si es posible y generando ficheros informe de dicha corrección.

Existen una serie de agentes externos que pueden ser la causa de posibles fuentes de error para los datos captados por los sensores de radiación en el invernadero experimental. Estos son de muy distinta naturaleza, como por ejemplo:

- Aparición de una fuente de ruido en la señal provocando una variación en ésta, sobre todo, debido a la distancia que hay entre el invernadero experimental y el sistema de adquisición, requiriendo en la mayoría de los casos una amplificación de la señal interceptada.
- Sombras sobre los sensores de radiación que proyectan los componentes que forman la estructura del invernadero. Como por ejemplo, la malla de alambre que cubre el invernadero experimental.
- Acumulación de polvo sobre el plástico que recubre el invernadero experimental. La zona del plástico situada encima del sensor es limpia periódicamente.



Portada principal del programa



Panel de adquisición de datos.



Subestación a 2 metros de altura.

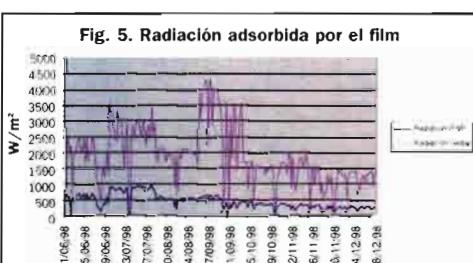
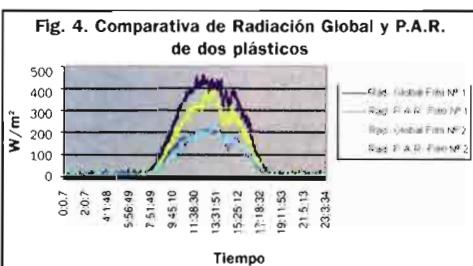
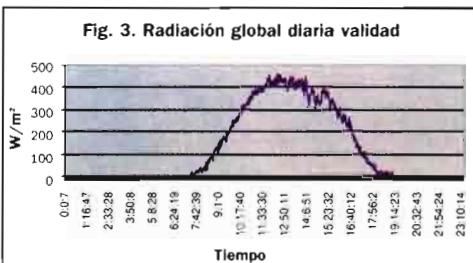
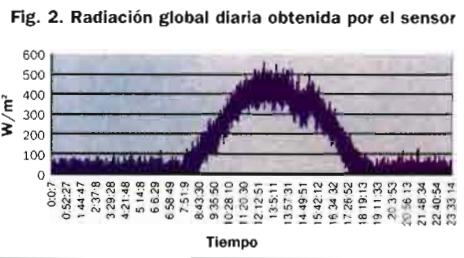
• El invernadero experimental no tiene ventilación alguna (elevadas temperaturas). Por lo que puede ser también de una fuente de ruido en la señal.

• Retraso en algunas rotaciones de los sensores de radiación, debido a la aplicación de tratamientos fitosanitarios periódicos para simular las condiciones normales de cultivo en invernadero y provocar una degradación química de los plásticos, y en verano a las elevadas temperaturas en el interior del mismo. Por ello, para algunos plásticos tenemos más datos de radiación que para otros.

Los tipos de error más comunes detectados por la herramienta de validación son: los errores producidos por la propia instalación del sistema de adquisición (caídas de tensión), errores debidos a la propia naturaleza del sensor (inestabilidad de algunos sensores), errores de tipo humano (cambios de canal) y errores producidos por causa desconocida (comportamiento extraño de un sensor).

El almacenamiento de los datos validados se realiza en CD-ROM. Dichos dispositivos de almacenamiento son autónomos e independientes, esto quiere decir, que toda la organización de la información va incluido en él: etiqueta (fichero de identificación de CD-ROM), B.D. relacional (que indica la organización de los archivos) y los datos validados.

Como ejemplo de resultado de la ejecución del programa de validación, indicando una secuencia de acciones a realizar, sería el que se muestra en la **figuras 2 y 3**, que comparan un



canal de radiación filtrado con el mismo canal sin filtrar. Se puede observar cómo errores de la señal son detectados y corregidos, se informa de períodos de tiempo sin medir, se elimina ruido en la señal durante la noche, etc.

I.3.- Sistema de explotación de datos

Los objetivos fundamentales de la herramienta de explotación son: comparar los datos ya validados y obtener representaciones de los mismos (gráficos, diagramas, tablas, informes, mapas, simulaciones, etc.) para que los técnicos obtengan conclusiones según las distintas ubicaciones de los sensores, tanto dentro, como fuera del invernadero; para estudiar estructuras de invernaderos, tipos de plásticos, variedades de cultivos, clases de sustratos, etc.

Las fases en el proceso de explotación de datos son:

- Definición del experimento, donde se formalizan los objetivos a cubrir, indicando las variables de análisis, formato de los datos, volúmenes, etc.
- Definición del informe a realizar, se indi-

ca qué tipo de resultados deseamos, especificando las acciones necesarias para la elaboración del mismo.

• Ejecución de la secuencia de acciones prevista en la definición del experimento e informe.

• Presentación de los resultados con un formato determinado, permitiendo seleccionar distintas formas de presentación.

Como ejemplo de resultado de la ejecución del programa de explotación, siguiendo todos los pasos para realizar un experimento, sería el que muestra la **fig. 4**, que compara gráfica y numéricamente los valores de radiación P.A.R. y Global de dos plásticos ubicados en el invernadero experimental de estructura plana.

II. Resultados

II.1.- Degradación del plástico

En la **figura 5** se presenta la radiación absorbida por el film durante el periodo de estudio, desde el 1 de junio hasta el 31 de diciembre de 1998, observándose que el plástico absorbe mayor cantidad de radiación global que de radiación P.A.R.

También se ha comprobado, como se muestra en las **fig. 2 y 3**, que la radiación absorbida por el plástico aumenta a mayor cantidad de radiación incidente, tanto para la radiación global como para la radiación fotosintéticamente activa.

Como consecuencia de lo anteriormente expuesto, resulta interesante estimar la degradación sufrida por el plástico, comparando la radiación absorbida por el film para una misma cantidad de radiación incidente, en diferentes períodos de la vida útil del film.

Según la **figura 4**, los días 25/3/98, 12/12/98 y 30/12/98, se produjo la misma radiación incidente de 718,35 W/m², obteniéndose una radiación absorbida diferente, como puede observarse en el **cuadro III**.

Por lo tanto, se ha producido un aumento considerable de la radiación absorbida por el film durante el periodo de exposición de 1 año (**fig. 5**). Considerando como término medio 201,88 W/m² para el 21 de diciembre, se observa un aumento en la radiación absorbida de 158,25 W/m² en 241 días de exposición.

III. Conclusiones

Del estudio realizado anteriormente se deduce que la exposición del film durante un año

Fig. 6. Comparación radiación absorbida en función de la radicación incidente

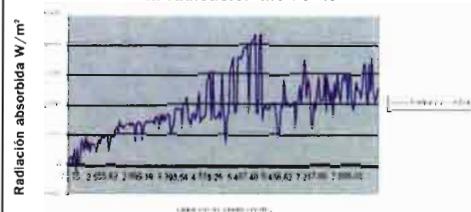


Fig. 7. Comparación radiación absorbida en función de la radiación incidente

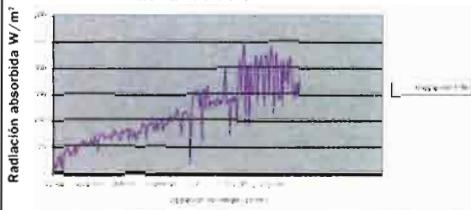


Fig. 8. Degradación del plástico con el tiempo

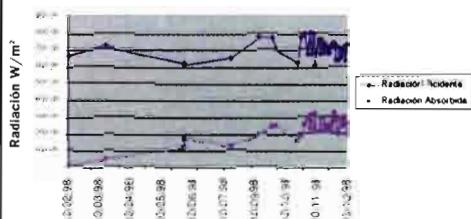
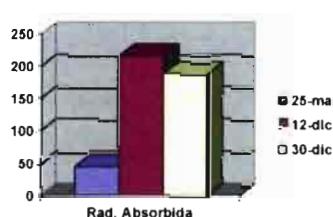


Fig. 9



hace que se degrade de tal forma que la radiación absorbida aumenta hasta 215,22 W/m², lo que repercute en una disminución brusca de la radiación recibida por el cultivo. ■

BIBLIOGRAFÍA

- BAILEY, B.J.; HUNTER, A. 1988. Plant response and energy use in five high thermal resistance greenhouses. *Acta Horticulturae*. 229: 165-171.
- COCKSHULL, K.E. 1988. The integration of plant physiology with physical changes in greenhouse climate. *Acta Horticulturae*. 229: 113-123.
- GALLAGHER, J.N.; BISCOE, P.V. 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. *J. Agric. Sci.*, 91: 47-60.
- HARNETT, R.F.; SIMS, T.V.; BOWMAN, G.E. 1979. Comparison of glasshouse types and their orientation. *Expl. Hort.*, 31: 59-56.
- JONES, H.G. 1983. Radiation. En: *Plants and Microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology*. Cambridge University Press. Pp 9-35.
- KONNING, A.N.M. 1989. Development and growth of a commercially grown tomato crop. *Acta Horticulturae*. 260: 267-273.
- SHERRY, W.J.; GOLDSBERRY, K.L. 1980. Carnation production responses to solar radiation transmitted through plastic greenhouse covers. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 105 (4): 579-582.
- VERHAEG, A.P. 1981. The influence of insulation techniques on crop production and profitability in the Dutch glasshouse industry. *Acta Horticulturae*. 115: 453-465.
- WARREN WILSON, J.; HAND, D.W.; HANNAH, M.A. 1992. Light interception and photosynthetic efficiency in some glasshouse crops. *J. Exp. Bot.* 43 (248): 363-373.