

estación experimental



VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA RADIACIÓN SOLAR EN INVERNADERO EN INVERNADERO PARRAL. MEDIDAS Y MODELO.

GONZÁLEZ-REAL M. M.
LÓPEZ HERNÁNDEZ, J. C.
CABRERA CORRAL, J.
BAILLE, A.
PÉREZ-PARRA, J.

2º Congreso Nacional de Agroingeniería
Córdoba, 24 al 27 septiembre 2003
Resumen. Pág. 239-240

Variabilidad espacial de la radiación solar en invernaderos parral. Medidas y modelo

M.M. González-Real, J.C. López¹, J. Cabrera¹, A. Baille, J. Pérez-Parra¹

*Universidad Politécnica de Cartagena. ETSIA, Paseo Alfonso XIII, 48, 30202
Cartagena. Tel.968 32 56 67. Fax. 968 35 05 55. mayla.gonreal@upct.es*

⁽¹⁾ *Estación Experimental de CAJAMAR “Las Palmerillas”. Autovía del Mediterráneo,
km 419, 04710, El Ejido, Almería.*

Resumen

En este artículo se presentan las medidas de la distribución espacial de la radiación solar, que se realizaron en un invernadero parral asimétrico orientado E-O, ubicado en el Sudeste de España (Almería). Los resultados confirman que el valor de la transmisión de la radiación global solar es menos variable en el tiempo bajo condiciones de cielo cubierto que bajo condiciones de cielo despejado. En cuanto a la distribución espacial, los perfiles de radiación N-S muestran diferencias significativas entre días claros y días nublados. En ambos casos, la diferencia entre los valores máximos y mínimos de transmisión es del 6%, lo que indica que la radiación es relativamente homogénea dentro de este tipo de invernadero. Se utilizó un modelo de estimación de la transmisión de la radiación solar para simular el comportamiento del invernadero, en días claros y nublados. Los resultados de simulación muestran que el modelo es capaz de reproducir de forma correcta la tendencia global de la distribución de la radiación al interior del invernadero.

Palabras Clave: Radiación solar, propiedades ópticas, diseño, invernaderos

Abstract. Spatial distribution of solar radiation in parral-type greenhouses. Measurements and modelling. Measurements of the spatial distribution of solar radiation along a N-S transect in a symmetrical parral-type greenhouse, E-W oriented, were carried out in Southern Spain (Almeria). The results confirm that the average value of solar radiation transmission was less variable with time under conditions of overcast sky than under clear sky conditions. N-S profiles of solar radiation differed significantly between sunny and cloudy days. In both cases, differences of about 6 % were found between the maximum and minimum daily values of average transmission, indicating that the radiation field is rather homogeneous under this type of greenhouse. A model simulating solar radiation transmission was applied to the studied greenhouse, for both sunny and cloudy conditions, and was showed to reproduce quite well the global pattern of radiation distribution inside the greenhouse.

Keywords: Solar radiation, optical properties, greenhouse design

1. Introducción

Una de las limitaciones inherentes a los invernaderos tipo parral es su estructura con techo plano que presenta, esencialmente en periodo de invierno, valores más bajos de transmisión de la radiación que los que se observan bajo estructuras con techo a dos aguas. Esto explica que las diferentes mejoras aplicadas a este tipo de invernaderos se hayan centrado, en parte, en la concepción de una estructura que permita aumentar la

radiación solar captada en periodo de invierno (Castilla y col., 1990; Baille, 2002). La homogeneidad de la distribución de la radiación solar en invernadero es un criterio de diseño importante, puesto que una cosecha de calidad homogénea depende, en gran parte, de la variabilidad espacial de la radiación solar que incide en la cima del cultivo. Existen actualmente varios modelos de estimación de la transmisión de la radiación para diferentes tipos de invernaderos (Kozai et al., 1973; Critten, 1983; Baille et al., 1990). Sin embargo, hasta ahora, muy pocos han sido validados de manera completa en el espacio y en el tiempo. La validación de este tipo de modelos, requiere datos experimentales en diferentes estructuras de invernadero, que son largos y costosos de obtener lo que explica que sean muy escasos. El objetivo de este trabajo es precisamente caracterizar la homogeneidad espacial de la radiación global solar en invernaderos tipo parral. A este fin, se han llevado a cabo medidas de la variabilidad espacial de la radiación en un invernadero parral clásico, ubicado en Almería. Los datos experimentales se han utilizado para validar un modelo de transmisión de la radiación (González-Real y col., 2001).

2. Material y Métodos

2.1. Invernadero y medidas de radiación

Las medidas se realizaron en la Estación Experimental “Las Palmerillas” (latitud: 36° 47’ N, longitud: 2° 43’ O), en un invernadero simétrico orientado E-O con una superficie de suelo 1000 m² y con pendiente en cubierta de 10°. Las dimensiones y características del invernadero se presentan en la Figura 1. Se han llevado a cabo medidas de radiación (W m⁻²) con cuatro sensores de radiación global solar (pilas lineales) que se ubicaron, a lo largo de un transepto N-S, a las distancias que se señalan en la Figura 1 con respecto a la pared Sur.

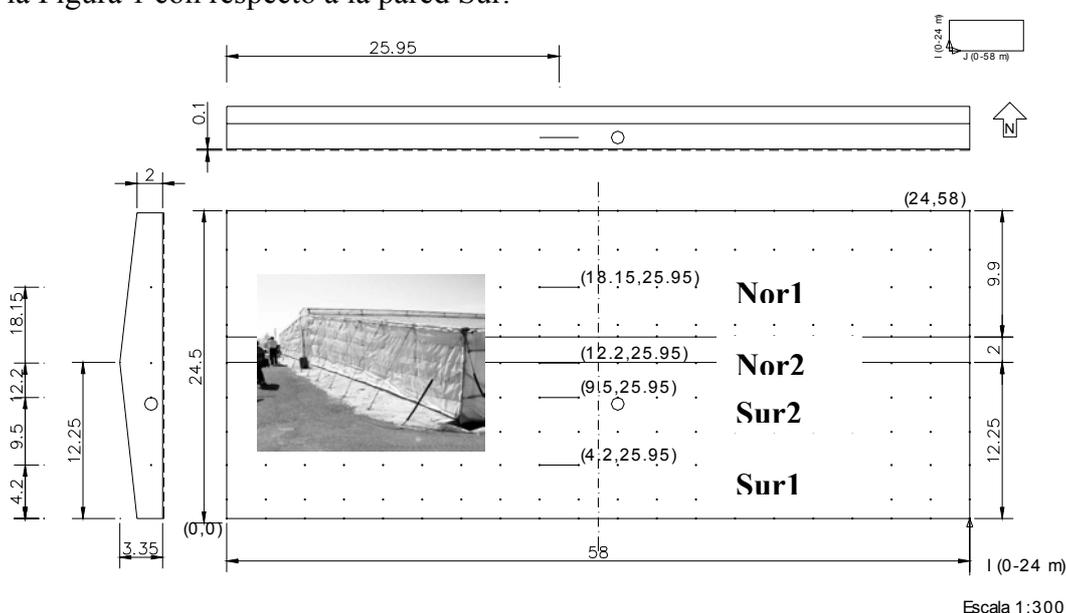


Figura 1. Esquema del invernadero y ubicación de los sensores de radiación solar

La denominación de los sensores es la siguiente:

- **Sur1:** sensor situado más al sur, a 4,2 m de la pared Sur.
- **Sur2:** sensor ubicado en la mitad sur del invernadero, a 9,5 m de la pared.

- **Nor1**: sensor situado más al norte, a 6 m del eje longitudinal del invernadero.
- **Nor2**: sensor situado en el eje del invernadero.

Además de estas medidas, se midió en el interior del invernadero la radiación difusa con una pila solarimétrica equipada con un anillo ecuatorial, y en el exterior se midió la radiación global solar y la difusa. El periodo de medidas abarcó del 20 de Febrero al 13 de Marzo 2001.

2.2. El modelo de transmisión

El modelo utilizado (González-Real y col., 2001) consta de tres módulos: un primer módulo que calcula las coordenadas astronómicas solares en función de la situación geográfica del invernadero (latitud, longitud del lugar). El segundo módulo determina las propiedades ópticas de la pared de cubierta y la radiación solar transmitida en función del tipo de pared, de su geometría y orientación. El tercero calcula la radiación solar que intercepta un elemento de una superficie horizontal (el suelo, la cima de las plantas, etc.), proyectando cada una de las paredes sobre esta superficie de referencia.

3. Resultados y discusión

3.1. Transmisión por día soleado y nublado

Las Figuras 2 a-b muestran que la evolución en el tiempo del coeficiente de transmisión, tanto el valor medio del transepto como el valor en los puntos con máxima y mínima transmisión, es más regular por día nublado que por día soleado. Sin embargo, el valor medio diario de la transmisión es muy similar en ambos casos (día nublado: $\tau = 0.698$; día soleado: $\tau = 0.709$).

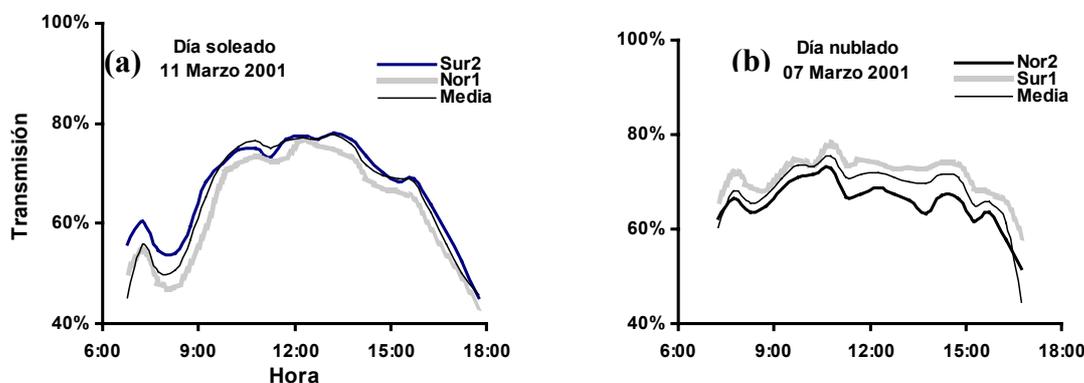


Figura 2. Evolución diaria del coeficiente de transmisión de la radiación solar: valor medio del transepto N-S y valor en los puntos con máxima y mínima transmisión

3.2. Perfil transversal de transmisión

Los datos que se presentan en los Cuadros 1 y 2 muestran que:

- Por día soleado (Cuadro 1), la zona con menos transmisión es la situada más al norte (sensor **Nor1**), con una diferencia de 6% con respecto a la zona con mayor transmisión (sensor **Sur2**);
- Por día nublado (Cuadro 2), la zona con menor transmisión es la situada en la parte mediana del invernadero (**Nor2**), con una diferencia de 6% con respecto a la zona que alcanza mayor transmisión (sensor situado más al sur, **Sur1**).

Las Figuras 3 a-b presentan la evolución espaciotemporal de la transmisión a lo largo del día y del transepto N-S, bajo condiciones de día soleado y nublado, respectivamente. Se observa claramente que existen diferencias importantes en la distribución de la radiación entre un día soleado y un día nublado, con un acusado descenso de la transmisión en la parte mediana bajo condiciones de cielo cubierto. Estas diferencias también se observan en el valor medio diario del coeficiente de transmisión (Figuras 4 a-b).

Cuadro 1. Día soleado. Valores de la integral diaria de la radiación solar dentro del invernadero, G_s , del valor diario del coeficiente de transmisión para los 4 puntos del transepto N-S y del porcentaje de transmisión con respecto al valor medio del transepto.

Posición	G_s ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	Transmisión	% con respecto al valor medio
Sensor <i>Sur1</i>	15,16	0,715	+ 1 %
Sensor <i>Sur2</i>	15,32	0,723	+ 2%
Sensor <i>Nor2</i>	15,20	0,717	+1%
Sensor <i>Nor1</i>	14,45	0,682	-4%

Cuadro 2. Día nublado. Valores de la integral diaria de la radiación solar dentro del invernadero, G_s , del valor diario del coeficiente de transmisión para los 4 puntos del transepto N-S y del porcentaje de transmisión con respecto al valor medio del transepto.

Posición	G_s ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	Transmisión	% con respecto al valor medio
Sensor <i>Sur1</i>	4,25	0,722	+ 2 %
Sensor <i>Sur2</i>	4,09	0,694	+ 0%
Sensor <i>Nor2</i>	3,92	0,666	-4%
Sensor <i>Nor1</i>	4,16	0,707	1%

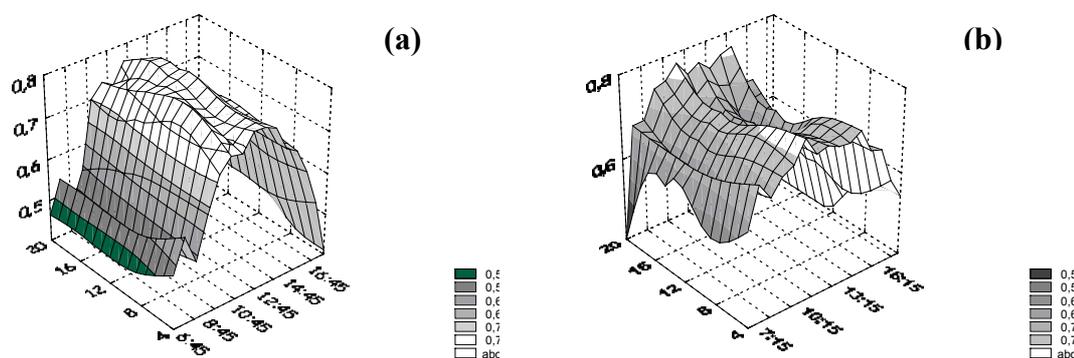


Figura 3. Representación espaciotemporal de la transmisión a lo largo del día y del transepto N-S: (a) Día soleado (b) Día nublado

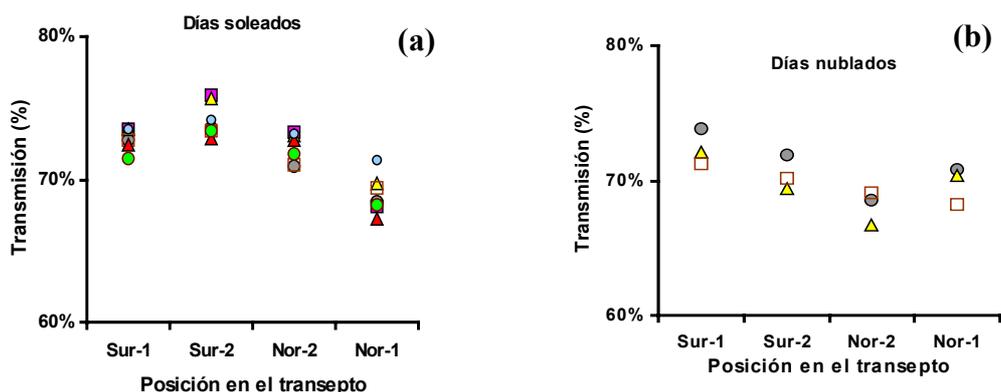


Figura 4. Representación del valor medio diario del coeficiente de transmisión a lo largo del transecto N-S: (a) Conjunto de días soleados (b) Conjunto de días nublados

3.3. Resultados de simulación

Las figura 5a-b presentan dos ejemplos de salidas de simulación. En ellas se compara la distribución medida y simulada de la integral diaria de la radiación solar, G_s , (7h – 19h) en el transecto mediano N-S del invernadero, para un día soleado y para día un nublado. Los parámetros del modelo han sido ajustados de forma a obtener valores de transmisión que sean del mismo orden de magnitud que los valores medidos. Se observa que el modelo reproduce muy correctamente la evolución de la transmisión bajo condiciones de día soleado. Por día nublado, el modelo da una evolución más uniforme que la que se ha medido en el invernadero. En particular, no estima un valor de G_s inferior en el centro del invernadero similar al medido por el sensor Nor2.

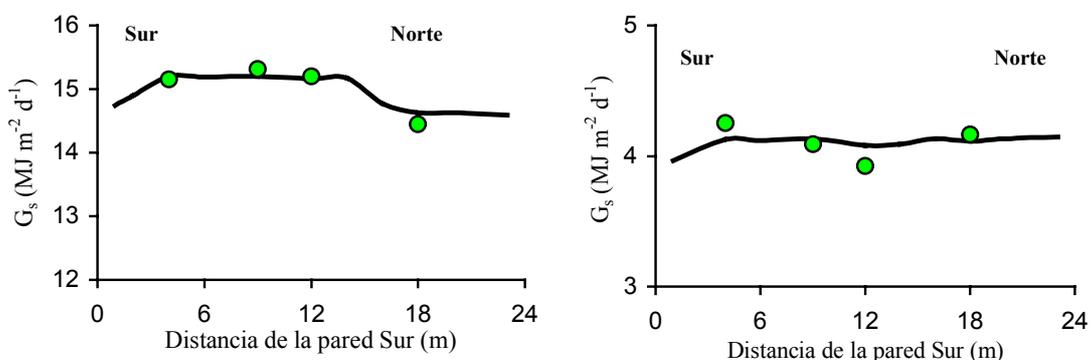


Figura 5. Comparación de los valores medidos (puntos) y calculados por el modelo (línea continua) de la integral diaria de la radiación global solar transmitida, G_s : (a) 11 de marzo, día soleado y (b) 7 de Marzo, día nublado. Almería

4. Conclusión

Este estudio ha permitido caracterizar, para un invernadero parral de tipo simétrico, la variabilidad espacial y temporal de la radiación solar. El resultado más relevante es la diferencia clara entre la distribución de la radiación bajo condiciones de cielo claro, donde la parte más desfavorecida corresponde, como era de esperar, a la parte Norte, y bajo condiciones de cielo cubierto que penalizan de manera sensible (-6%) la parte central del invernadero (sensor Nor2). Hay que resaltar también que la parte Sur del

invernadero (sensor *Sur1*) tiene una transmisión muy similar, tanto por tiempo soleado como por cielo nublado. Con las condiciones climáticas de Almería, donde predominan los días soleados, se puede considerar que la parte Norte del invernadero será la que reciba menos radiación. La diferencia respecto al resto del invernadero puede alcanzar, sobre la totalidad de un ciclo de cultivo, un 5%, siendo ésta la diferencia que se ha observado entre la parte Norte y el resto del invernadero por cielo despejado. Este tipo de estructura simétrica, orientada Este-Oeste, tiene una transmisión relativamente satisfactoria (transmisión media del orden de 0.70, tanto por condiciones de cielo despejado como por condiciones de cielo cubierto). Por todo ello, se puede considerar que es una estructura relativamente eficiente en lo que atañe a la transmisión solar, sobre todo cuando el plástico es reciente y no tiene acumulación de polvo, siendo éste el caso del invernadero estudiado.

Además, en este tipo de estructuras una pendiente de 10° induce una heterogeneidad aceptable de la radiación solar, si se considera la influencia que pueda ejercer sobre el cultivo. En efecto, una diferencia de 6% de integral diaria de radiación, entre la parte que recibe los valores más altos y la que recibe los más bajos, no puede considerarse como un factor predominante en la variabilidad entreplantas, ya que otros factores culturales, tales como la densidad de plantación, o bien factores edáficos ligados a la heterogeneidad del suelo, del riego y de la fertilización, ejercen probablemente una influencia superior a la que pueda tener una diferencia de 6% en radiación recibida.

La comprobación y validación de las salidas del modelo de transmisión con los datos experimentales ha permitido verificar su capacidad para reproducir la variación espacial de la radiación solar dentro del invernadero, sobre todo por día soleado. En conclusión, se dispone con este tipo de modelo, validado con datos experimentales, de una herramienta que puede ser de interés en la optimización de las estructuras de invernadero, utilizando criterios ligados a la radiación solar transmitida, es decir a la productividad de los cultivos.

4. Referencias

1. M. Baille, A. Baille, M. Tchamitchian, *A simple model for the estimation of greenhouse transmission. Influence of structure and internal equipment*, Acta Horticulturae, **Vol 281** (1990) 36
2. A. Baille, *Trends in Greenhouse Technology for Improved Climate Control in Mild Winter Climates*. Acta Horticulturae, **Vol. 559** (2002)161
3. N. Castilla, P. Lorenzo, J. Pérez-Parra, J-F Montero, E. Fereres, P. Bretones, J. López-Galvez, *New greenhouse structures for the South of Spain*, Acta Horticulturae, **Vol. 281** (1990) 63
4. D.L. Critten, *A computer model to calculate the daily light integral and transmisión of a greenhouse*. J. Agric. Eng. Research, 28 (1983) 61
5. M.M. González-Real, J.C. López, J Cabrera, A. Baille, J. Pérez-Parra, *Modelización de la transmisión solar de invernaderos parral*, Actas del Iº Congreso Nacional de Agro-Ingeniería, Comunicación nº AG010707, Valencia, España (2001)
6. T. Kozai, J. Goudriaan, M. Kimura, *Light transmisión and photosynthesis in greenhouses. Simulation monographs*, PUDOC, (1973) Wageningen