

## *Efectos de la nebulización sobre el microclima y producción del cultivo de judía verde bajo invernaderos de malla*

M. Romero-Gómez<sup>1</sup>, E.M. Suárez-Rey<sup>1</sup>, N. Castilla<sup>1</sup>, T. Soriano<sup>1</sup>, J. Casadesús<sup>2</sup>, A. Antón<sup>2</sup> y J.I. Montero<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IFAPA-Centro Camino de Purchil. Camino de Purchil s/n. Apartado 2027. 18080 Granada.

<sup>2</sup>IRTA. Centre de Cabriils. Ctra. Cabriils Km 2 E-08348 Cabriils (Barcelona)

**Palabras clave:** invernadero de malla, nebulización, déficit de presión de vapor, refrigeración, *Phaseolus vulgaris* L.

### Resumen

La horticultura protegida de interior bajo malla, en época estival, presenta como principal reto el control de las condiciones ambientales para suavizar los elevados déficits de presión de vapor (DPV) que se registran durante la mayor parte del día. Una de las posibles estrategias es la utilización de sistemas de nebulización bajo las mallas. Este trabajo presenta los resultados preliminares de la evaluación del efecto de la nebulización de baja presión sobre el microclima de un invernadero de malla y sobre la productividad de un cultivo de judía. Se compara una estructura cubierta de malla y provista de nebulización de baja presión (MN) con una estructura de malla sin nebulización (M) y con cultivo al aire libre (AL), en el Centro IFAPA-Camino de Purchil, en la Vega de Granada.

Para la caracterización climática se instalaron sondas de temperatura y humedad del aire, sensores de temperatura del suelo y de radiación global y PAR. El sistema de nebulización de baja presión se manejó con un controlador por DPV (*Controlador IRTA-IFAPA*®). El cultivo de judía verde de enrame (*Phaseolus vulgaris* L. variedad Kylie) se llevó a cabo en ciclo de primavera-verano de 2007, cuantificando la cosecha y caracterizando el crecimiento del cultivo.

El principal efecto producido por la malla fue una reducción de radiación respecto al aire libre, lo que conllevó una disminución de la temperatura del dosel vegetal en los tratamientos bajo malla. El descenso de DPV registrado en el tratamiento con nebulización, respecto al resto de tratamientos, fue más acentuado que el correspondiente a la temperatura de aire, lo que indica un efecto de barrera física de la malla a la renovación del aire interior cargado de vapor de agua (efecto cortavientos). Los tratamientos bajo malla muestran una mayor precocidad en la producción respecto al aire libre.

### INTRODUCCIÓN

La producción bajo mallas en el periodo estival en comarcas interiores deprimidas, tradicionalmente dedicadas a cultivos de poco valor añadido y con problemas sociales y económicos, se está extendiendo paulatinamente para cubrir la demanda de un suministro continuo y estable de hortalizas por parte de grandes distribuidores, que comercializan los productos de los invernaderos costeros.

El sistema productivo bajo invernadero plástico mediterráneo, se basa en la utilización de un mínimo de energía, lo cual genera para la mayoría de las especies cultivadas unas condiciones microclimáticas subóptimas en algunos periodos (Castilla, 1994). Permite obtener una producción fuera de estación a un coste competitivo aprovechando las bondades del clima en comarcas costeras. Sin embargo, las condiciones de humedad y temperatura son inadecuadas para poder cultivar con éxito durante los meses de alta radiación, pues procesos fundamentales para la producción, como la floración y el cuajado de los frutos se ven seriamente

afectados por las temperaturas elevadas (Peet y col., 1997). Reducir la temperatura para prolongar los ciclos de cultivo bajo plástico es uno de los mayores problemas para la horticultura protegida en climas cálidos (Arbel y col., 2000). No es fácil enfriar o controlar la temperatura en el invernadero sin invertir grandes cantidades de dinero a través de la incorporación de mejoras tecnológicas que, además, suponen un importante coste medioambiental por consumo energético muy elevado, especialmente en sistemas de ventilación forzada (Soriano y col., 2006-1).

Frente a ello la utilización de una estructura cubierta de malla tejida, que disminuya la radiación incidente, reduzca la incidencia del viento y aumente la humedad relativa del aire, está posibilitando la realización de ciclos de cultivo desde primavera hasta inicios de otoño en comarcas no litorales (Soriano y col., 2006-2). Estas estructuras tienen menores cargas eólicas y de equipamientos, por lo que tienen menores requerimientos constructivos que los invernaderos de plástico convencionales y su coste se reduce notablemente. Pero los invernaderos de malla también presentan ciertos problemas, como son, un exceso de temperatura en verano, baja humedad ambiental, valores de déficit de presión de vapor (DPV) extremos a mediodía (hasta 6 kPa), y en general, dificultad para controlar las condiciones ambientales.

Para paliar estas condiciones se puede recurrir a sistemas activos de refrigeración, como una instalación de nebulización de baja presión controlada en función del DPV, lo que resulta más interesante desde el punto de vista fisiológico.

La refrigeración evaporativa mediante nebulización de baja presión (alrededor de 4 atm), permite en condiciones de baja humedad ambiental, disminuir los valores de temperatura ambiente y disminuir el déficit de presión de vapor, sin elevar en exceso la inversión económica.

En cambio, es sensible a la calidad del agua (por obturación de boquillas) y no consigue bajar la temperatura foliar a no ser que los valores de tasa de ventilación natural sean elevados, lo cual no siempre es posible en días de verano (Baille, 2004). Además, la calidad de la nebulización de baja presión es inferior a la de los equipos de alta presión, pues el tamaño de la gota es próximo a 100 micras. En consecuencia el cultivo puede mojarse. Por ello es necesario gobernar las boquillas con un controlador eficaz que actúe en las horas centrales del día y trate de mantener una humedad relativa por debajo del 70%, actuando en ciclos cortos que permitan el secado total o parcial de las hojas con lo que los problemas derivados del exceso de humedad serán mínimos o inexistentes (Montero y col., 2003).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la nebulización de baja presión sobre el microclima de un invernadero de malla y sobre la bioproduktividad de un cultivo de judía verde de crecimiento indeterminado, comparando con el cultivo bajo malla sin nebulización y con el cultivo al aire libre. También se cuantificó el consumo de agua del sistema de nebulización y el efecto de la malla y la nebulización en el consumo de agua de riego.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se realizó en un invernadero con cubierta de malla de 960 m<sup>2</sup> de superficie, construido en el Centro IFAPA "Camino de Purchil", localizado en la Vega de Granada (Latitud: 37° 10' 21"N; Longitud: 3° 38' 10"; Altitud: 600 m). Se trata de una estructura metálica multimodular, tipo raspa y amagado (cubierta a dos aguas), con una distancia entre cumbreras de 8 m y entre postes en sentido cruzado a las raspas, de 5 m. Las dimensiones totales son de 24 x 40 m, con la orientación del eje principal en dirección norte-sur. La altura de la cumbrera es de 4 m y la del canalón es de 3,5 m. El invernadero es trimodular, con módulos de 8 m de ancho y 40 m de longitud y se divide en dos sectores, uno de ellos provisto de nebulización y el otro no.

La cubierta de la estructura del invernadero se hizo con malla mono-filamento natural blanca-negra de 6 x 9 hilos cm<sup>-2</sup>. Las bandas de la estructura del invernadero se realizaron

con malla de 10 x 16 hilos cm<sup>-2</sup> negra en todo el perímetro y rafia plastificada impermeable al aire. El suelo fue acolchado con rafia negra para evitar la nascencia de malas hierbas. Tanto la malla como la rafia negra son de polietileno.

El riego en todos los tratamientos fue por goteo, con emisores en línea. La programación del riego se hizo mediante tensiómetros manteniendo valores por debajo de 15-20 kPa de tensión mátrica entre 5 y 15 cm de profundidad. El entutorado se llevó a cabo a 2 m de altura. Para la caracterización climática se instalaron sondas de temperatura y humedad del aire (HMP45, Vaisala), sensores de temperatura del suelo (107, Campbell) y sensores de radiación global (SKS1110, Sky Instruments) y radiación fotosintéticamente activa (PAR) (SKP215/S, Sky Instruments), en ambos sectores del invernadero y en el exterior, tomando medidas cada 5 minutos y registrando el promedio de 30 minutos.

En la mitad de la superficie del invernadero de malla se incorporó un sistema de nebulización de baja presión, para caracterizar su efecto refrigerante en el microclima y en el desarrollo del cultivo. Para ello se utilizó un controlador por DPV diseñado en colaboración con el IRTA (Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries, Centro de Cabrils), que controla el funcionamiento de las boquillas actuando en ciclos cortos para minimizar o evitar los problemas derivados del exceso de humedad. (Concedido el Modelo de Utilidad para este controlador en la Oficina Española de Patentes y Marcas: solicitud nº U200700970. Concesión: 1 de Enero de 2008).

Se instalaron dos líneas portaboquillas en la mitad de cada módulo del invernadero, separadas 4 m entre sí y a 2 m del canalón. La altura de instalación fue de 3,5 m (altura de canalón). La presión de trabajo fue de 4,5 atm. Las boquillas eran de 7 Lh<sup>-1</sup> y estaban separadas 2 m entre sí al tresbolillo (densidad 4 x 2 m<sup>2</sup>) y enfocadas hacia el centro de la nave, fijadas con alambres para que no giraran hacia arriba o enfocaran a las plantas directamente.

El cabezal para nebulización incluye una bomba para llenado del depósito, un filtro de malla, un descalcificador, un depósito con dosificador, tres sensores de nivel para detectar la bajada del nivel del agua en dicho depósito y poner a funcionar el motor de llenado, una bomba de impulsión de agua a las líneas portaboquillas, un filtro de anillas de 2", una válvula de presión, una válvula solenoide y otros elementos menores.

El controlador por DPV (IRTA-IFAPA®) es un regulador progresivo del tipo proporcional integral derivado (PID). Este regulador supervisa y regula el DPV, de modo que la intensidad de la nebulización responde directamente a la capacidad de evaporación del agua en las condiciones ambientales en que se encuentra el invernadero en un momento dado. Esto minimiza problemas de condensación y mojado puesto que la nebulización se realiza en unas condiciones de DPV en las que se puede asegurar que el agua aportada se evaporará rápidamente. Este sistema fue probado bajo malla con éxito en el ciclo primavera-estival de 2006, donde se mostró la necesidad de establecer pulsos de control inferiores a 2 minutos. (Romero-Gámez y col., en prensa).

Por ello, el intervalo entre pulsos de nebulización se fijó en 90 segundos. El DPV de consigna para la nebulización fue de 2,5 kPa entre las 8:00h y las 22:00h y el resto del tiempo se mantuvo desactivado.

El cultivo de judía verde se hizo en ciclo de primavera-verano de 2007, evaluando la cosecha cuantitativamente y caracterizando el crecimiento del cultivo. Se transplantó judía verde de enrame variedad Kylie, dos plantas por golpe en el interior del invernadero y tres plantas por golpe al aire libre en líneas de cultivo norte-sur. Se establecieron 3 repeticiones por cada tratamiento: bajo malla (M), bajo malla con nebulización (MN) y testigo aire libre (AL). La densidad de plantación fue de 2,35 pl/m<sup>2</sup> en el invernadero y de 5,36 pl/m<sup>2</sup> en el exterior, siguiendo las prácticas habituales en la zona al aire libre.

El transplante se realizó el 11 de Junio de 2007, dándose el cultivo por finalizado el 14 de Agosto de 2007. Las primeras recolecciones se iniciaron el 23 de Junio (42 días después

del trasplante), finalizando el 16 de Agosto (66 días después del trasplante).

Dentro del invernadero se llevaron a cabo sistemas de lucha integrada con suelta de enemigos naturales, reduciendo al mínimo el control químico. En cambio, al aire libre, se realizó un control de plagas convencional, con aplicación de productos químicos en tratamientos preventivos y curativos a lo largo del ciclo.

Se cuantificó la producción en los tres tratamientos. También se tomaron medidas de temperatura de hoja a lo largo del ciclo.

La evaluación del consumo de agua, tanto del sistema de nebulización como del riego, se ha realizado en función de las horas de funcionamiento y del caudal de las boquillas (7 Lh<sup>-1</sup> y 2,5 Lh<sup>-1</sup>, respectivamente).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las figuras 1 y 2 muestran la evolución diaria de la temperatura y DPV del aire en un día (03/07/2007) del ciclo de cultivo de judía verde. En el tratamiento MN se alcanzan reducciones de la temperatura máxima de 3°C aproximadamente respecto al tratamiento M y de 2°C respecto a AL alrededor de las 17:30 horas en que se alcanzan los valores de temperatura máximos (Figura 1). En cuanto a las diferencias máximas de DPV (Figura 2), la nebulización en el tratamiento MN consigue reducir alrededor de 1 kPa los valores máximos registrados con respecto a los tratamientos M y AL.

En cuanto a la radiación, la malla genera una importante reducción del valor máximo de radiación PAR (radiación fotosintéticamente activa) y PIR respecto a AL en la hora de máxima insolación (14:00 horas) de días soleados (Figuras 3 y 4). El sombreado medio generado por la malla a lo largo del ciclo estuvo en torno al 30-40% del valor exterior. Las gotas dispersas en el aire por la nebulización también redujeron aún más la radiación incidente sobre las plantas en el sector del invernadero dotado con este sistema.

Este descenso de la radiación, sin embargo, no afectó de forma importante a las temperaturas máximas registradas en el interior del invernadero. Sí se pudo apreciar una reducción en la temperatura de hoja, cuyos valores, tanto en el haz como en el envés, estuvieron entre 2°C y 3°C por debajo en los tratamientos M y MN respecto al tratamiento AL (Tabla 1). Así pues, el principal efecto de la malla de sombreado es la reducción de la radiación, que conlleva una disminución de la temperatura del dosel vegetal.

Puesto que las diferencias generadas por la malla respecto al aire libre en temperatura de aire son escasas y, se logra en cambio un descenso mayor del DPV, hay una actuación de la malla de cubierta como barrera física al intercambio del aire interior del invernadero cargado de vapor de agua con el aire seco exterior, manteniendo unos niveles de humedad que mejoran las condiciones para que la planta haga frente al estrés generado por las altas temperaturas estivales como ya se había constatado en trabajos anteriores bajo malla (Romacho y col, 2005).

La producción de frutos comerciales obtenida en el tratamiento M y MN al principio del ciclo fue mayor que en el tratamiento AL, pero la diferencia no fue estadísticamente significativa (Tabla 2). Los tratamientos M y MN tendieron a mostrar una mayor precocidad aunque se interrumpió la cuantificación de la producción a los 25 días de la entrada en producción por un intenso ataque de araña roja en el invernadero frente al que los enemigos naturales (*Amblyseius californicus* y *Phytoseiulus persimilis*) no fueron efectivos.

A esto hay que añadir una fecha demasiado tardía de trasplante (11/06/2007) y una entrada en producción tardía también por temperaturas anormalmente suaves en primavera durante las primeras semanas del ciclo.

Resulta imprescindible la realización de ciclos más largos, con siembras o trasplantes en las dos primeras semanas de mayo.

## Cuantificación del consumo del agua por el sistema de nebulización

En este ciclo de judía, en un mes de funcionamiento del sistema de nebulización, el consumo de agua total fue de 115,24 Lm<sup>-2</sup>, con un tiempo medio de funcionamiento diario de 8,66 horas y un consumo medio diario de 3,84 Lm<sup>-2</sup>

El consumo total medio de agua de riego en todo el ciclo de judía en el sector MN y M ha sido de 2,3 L·m<sup>-2</sup>·día<sup>-1</sup> y en AL de 3,8 L·m<sup>-2</sup>·día. En un invernadero de plástico el consumo medio del cultivo de judía en los meses de Enero a Mayo es de 1,5 L·m<sup>-2</sup>·día<sup>-1</sup>, siendo, sin embargo, de 4,26 L·m<sup>-2</sup>·día<sup>-1</sup> al final del ciclo en los meses de primavera. Por tanto, la malla reduce el consumo de agua de riego respecto al aire libre y al cultivo bajo plástico en época primaveral.

La malla redujo la radiación en torno al 30-40% del valor exterior. Esto conllevó una disminución de temperatura del dosel vegetal de entre 2°C y 3 °C. El sistema de nebulización de baja presión mejoró el microclima interior bajo malla, incrementando la humedad interior y potenciando así el efecto de barrera física a la salida de aire cargado de vapor de agua. Disminuyó, por tanto, el DPV interior, especialmente en las horas centrales del día en que se registran los valores máximos, más limitantes para el cultivo. Las temperaturas registradas en el tratamiento con nebulización fueron ligeramente inferiores a las del tratamiento sin nebulización y al aire libre.

Los tratamientos bajo malla mostraron una mayor precocidad en la producción respecto al aire libre. No obstante, el control integrado bajo la malla debe ser exhaustivo y, si es preciso, se deben intensificar los tratamientos fitosanitarios.

El efecto de la malla en el microclima logró reducir el consumo de agua de riego. Sin embargo, en este ciclo de judía, en un mes de funcionamiento el sistema de nebulización consumió unos 115,24 Lm<sup>-2</sup> por lo que se recomienda la utilización de sistemas de recogida de agua de lluvia siempre que sea posible, lo que además reducirá el riesgo de obturación de boquillas.

## Agradecimientos

Este trabajo se ha desarrollado dentro del proyecto INIA-RTA2006-00062

## Referencias

- Arbel, A., Shklyar, A., Barak, M. 2000. Buoyancy-driven ventilation in a greenhouse cooled by a fogging system. *Acta Horticulturae* 534: 327-334
- Baille, A. 2004. Requirements and Constraints in Design Greenhouses Structures and Equipment for Mediterranean Climates. CIGR Congress, Evora, Portugal, in press
- Castilla, N. 1994. Greenhouse in the Mediterranean area: technological level and strategic management. *Acta Horticulturae* 361: 44-56.
- Montero, JI., Antón, A., Muñoz, P., 2003. Nebulización: Efectos sobre el microclima, producción eficiencia en el uso del agua. Mejora de la eficiencia en el uso del agua en cultivos protegidos. Ed. Fernández, M. Lorenzo, P. Cuadrado, I. Curso Superior de Especialización vol. 7. Almería pp: 231-243
- Peet, M.M., Willits, D.H., Gardner, R. 1997. Response of ovule development and post-pollen production processes in male-sterile tomatoes of chronic, sub-acute high temperature stress. *J. of Exp. Bot* 48 (306): 101-111
- Romacho, I., Hita, O., Soriano, T., Morales, M.I., Suárez-Rey, E.M., Peláez, M., Hernández, H., Escobar, I., Castilla, N., 2005. Invernaderos de malla para cultivos estivales en comarcas no litorales: caracterización microclimática evaluación productiva del cultivo de tomate tipo cereza. *Actas portuguesas de horticultura* nº 5, Volumen 1: 378-383

- Romero-Gómez, M.; Casadesús, J.; Soriano, T.; Suárez-Rey, E.M.; Castilla, N.; Antón, A.; Muñoz, P.; Montero, J.I. Sistemas de nebulización de baja presión en cultivos estivales bajo mallas plásticas. *Agrícola Vergel*. En prensa
- Soriano, T. Morales, M.I.; Suárez-Rey, E.; Escobar, I.; Hita, O.; Romacho, I.; Hernández, J.; Castilla, N. 2006. Comparación de dos paquetes tecnológicos para invernaderos mediterráneos con cultivo de tomate tipo cereza. *Actas de Horticultura* 46: 1-4.
- Soriano, T.; Morales, M.I.; Hita, O.; Romacho, I. 2006. Cultivos estivales bajo mallas plásticas. *Horticultura* 192: 14-18.

Tabla 1. Temperatura del haz y envés de la hoja en el interior del invernadero de malla y al aire libre (AL)

Fecha	T° HAZ (°C)		T° ENVÉS (°C)	
	M	AL	M	AL
15/06/2007	18,5	20,4	18,78	20,74
11/07/2007	20,64	22,04	19,98	20,84
18/07/2007	18,28	19,54	18,4	19,34
24/07/2007	20,58	23,5	19,71	23,14
31/07/2007	20,72	22,64	21,38	23,56
08/08/2007	19,1	21,44	19,1	21,5
13/08/2007	20,48	23,66	20,62	22,46

Tabla 2. Producción de judía verde acumulada en los tres tratamientos (bajo malla con nebulización-MN, bajo malla sin nebulización-M y aire libre-AL). Números seguidos de distinta letra dentro de la misma línea indican diferencias significativas.

PRODUCCIÓN ACUMULADA (Kg/m <sup>2</sup> )			
d.d.t.	NM	M	AL
42	0,006a	0,015a	0,003a
50	0,074a	0,093a	0,022a
53	0,254a	0,234a	0,022a
56	0,254a	0,234a	0,151a
60	0,358a	0,378a	0,181a
66	0,358a	0,403a	0,202a

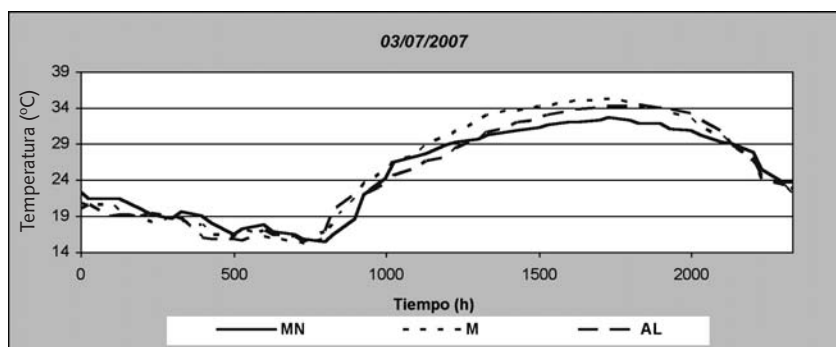


Figura 1. Evolución diaria (03/07/2007) de la temperatura (°C) del aire en el interior del invernadero de malla sin nebulización (M), bajo malla con nebulización (MN) y al aire libre (AL). Controlador de DPV programado para actuar entre las 8:00h y las 22:00h con una consigna de 2,5 kPa

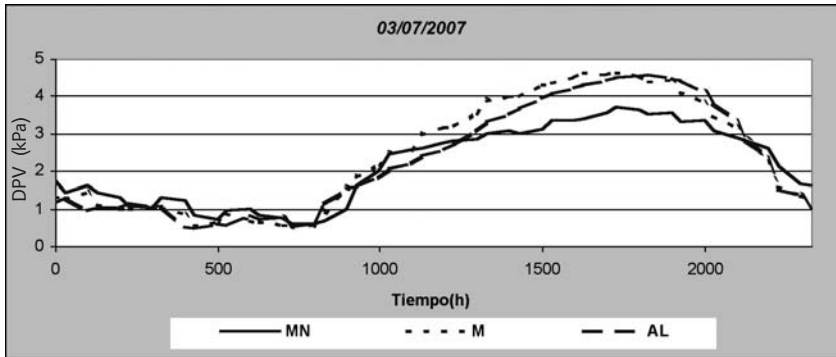


Figura 2. Evolución diaria (03/07/2007) del déficit de presión de vapor (kPa) del aire en el interior del invernadero de malla sin nebulización (M), bajo malla con nebulización (MN) y al aire libre (AL). Controlador de DPV programado para actuar entre las 8:00h y las 22:00h con una consigna de 2,5 kPa.

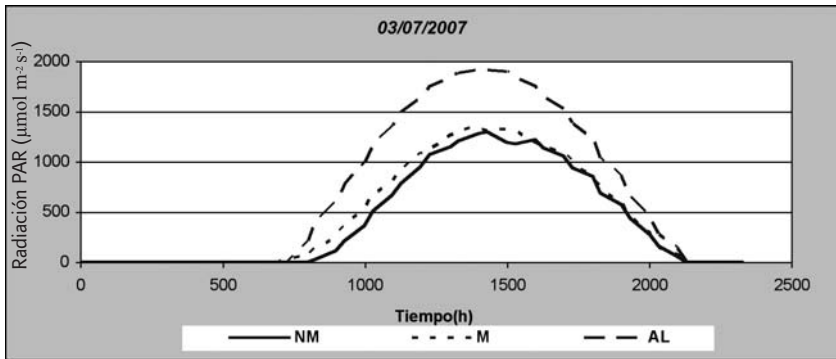


Figura 3. Evolución diaria (03/07/2007) de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) incidente sobre el cultivo ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) en el interior del invernadero de malla sin nebulización (M), bajo malla con nebulización (MN) y al aire libre (AL).

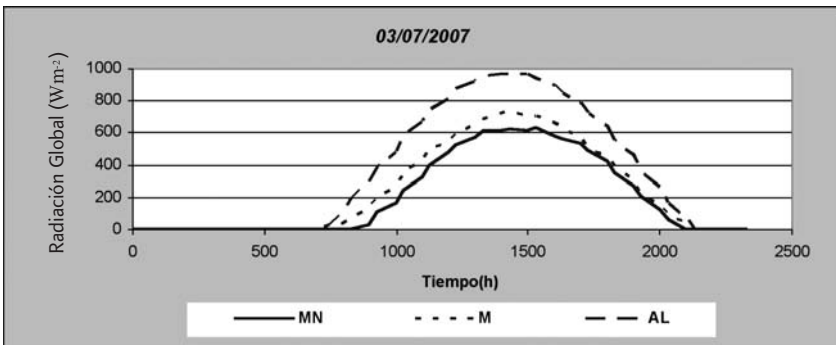


Figura 4. Evolución diaria (03/07/2007) de la radiación global ( $\text{W m}^{-2}$ ) en el interior del invernadero de malla sin nebulización (M), bajo malla con nebulización (MN) y al aire libre (AL).