

RESPUESTA FISIOLÓGICA DE UN CULTIVO DE MELÓN (*Cucumis melo* L.) A DISTINTAS DOSIS DE RIEGO

F. RIBAS ¹, M.J. CABELLO ¹, M.M. MORENO ¹, A. MORENO ¹,
L. LÓPEZ-BELLIDO ²

¹ Centro de Mejora Agraria «El Chaparrillo». Servicio de Investigación y Tecnología Agraria.
Alarcos, 21. 13071 Ciudad Real

² Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes de Córdoba
Apdo 3048. Córdoba

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de resistencia estomática (Rs) obtenidos en diferentes momentos del día y al alba a lo largo del desarrollo del cultivo, con el fin de valorar la respuesta fisiológica de las hojas de melón sometido a distintas dosis de riego, así como su relación con la evolución del índice de área foliar (LAI) y el rendimiento. Los niveles hídricos se determinaron en función de las necesidades de riego calculadas (NRc) a partir de la evapotranspiración del cultivo, ensayándose cuatro tratamientos correspondientes a 1,25 NRc; 1,00 NRc; 0,75 NRc y 0,50 NRc.

Los estomas del haz y del envés de la hoja no respondieron de forma similar a las distintas condiciones del medio, obteniéndose valores de Rs superiores en el haz. La dosis de riego no afectó de forma significativa a este parámetro en las distintas fechas de medida al alba. Tampoco hubo diferencias entre los valores registrados a intervalos de 2 h a lo largo del día, excepto el 12 de agosto de 1997, 95 días después de la emergencia (DDE), a las 12:00 hora solar en el envés de la hoja, cuando la Rs del tratamiento más deficitario (TR_d) fue significativamente mayor. Sin embargo, el déficit hídrico produjo una reducción significativa del LAI y del rendimiento, por lo que la medida de Rs no es un buen indicador del estado hídrico de la planta cuando el riego se aplica diariamente con dosis deficitarias.

PALABRAS CLAVE: *Cucumis melo*
Riego por goteo
Déficit hídrico
Transpiración
Resistencia estomática

Recibido: 26-7-99
Aceptado para su publicación: 17-3-00

INTRODUCCIÓN

Ciudad Real es la principal provincia española en cuanto a la producción de melón al aire libre. Durante los últimos años, la superficie destinada a este cultivo ha sido superior a las 10.000 ha, la mayoría situadas sobre el acuífero n.º 23 «Mancha Occidental» que presenta graves problemas de sobreexplotación.

Una de las exigencias básicas de la producción de melón es la disponibilidad de agua bien distribuida y en cantidades adecuadas a lo largo de su ciclo vegetativo. Se debe evitar el estrés hídrico, puesto que influye en el rajado de los frutos y afecta negativamente al crecimiento foliar reduciendo la cosecha final. El cultivo se desarrolla en el período estival, cuando la demanda evaporativa es alta y las precipitaciones son prácticamente inexistentes, por lo que es preciso recurrir al riego para obtener producciones que permitan una adecuada rentabilidad económica.

La medida de la transpiración y conductancia de las hojas al vapor de agua son importantes en la investigación de las relaciones de agua en la planta. La transpiración es el determinante principal del balance de energía de la hoja y del estado hídrico de la planta y, junto con el intercambio de CO₂, determina la eficiencia del uso del agua (Percy *et al.*, 1991). Ésta juega un papel importante no solamente en el mantenimiento de la turgencia de los tejidos, sino también en la regulación de la temperatura de la hoja (Hatfield y Burke, 1991), y en el transporte y asimilación de nutrientes (Jolliet, 1993), determinando, por tanto, en gran medida el desarrollo de los cultivos y la formación de frutos. El control estomático de la conductancia de la hoja es una de las formas que los vegetales tienen para controlar la pérdida de agua por transpiración. A menudo se utiliza la medida de esta conductancia o su inversa, la resistencia estomática, como un indicador del estrés. Todos los factores climáticos influyen en la transpiración produciendo variaciones en la apertura estomática, pero son especialmente importantes la radiación y la humedad relativa (Kitano *et al.*, 1983; Jolliet, 1993).

En el caso del melón, no todos los cultivares son igualmente resistentes a la sequía ni reaccionan de la misma manera frente a una situación de déficit hídrico. Las variedades menos sensibles a la falta de agua reaccionan más rápidamente al estrés reduciendo la transpiración (Hosoki *et al.*, 1987). Cuando los estomas se cierran se produce una disminución de la actividad fotosintética, pues se impide el intercambio gaseoso. Sin embargo, no toda disminución de la fotosíntesis, producida como respuesta al estrés hídrico, puede ser explicada por un cierre estomático. Este es sólo en parte el responsable de la misma (Janoudi *et al.*, 1993; Melkonian y Wolfe, 1993, 1995).

El objetivo de este trabajo fue determinar la respuesta estomática del cultivo de melón cv. Pinyonet-Piel de sapo, cultivado con acolchado plástico al aire libre en Ciudad Real, a distintas dosis de riego por goteo, estableciendo su relación con el crecimiento del área foliar y con el rendimiento, y valorar la técnica del porómetro como indicador del estrés hídrico en este cultivar.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los experimentos tuvieron lugar durante los años 1996 y 1997 en la finca «La Entresierra», propiedad de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, situada en la zona regable del pantano de «El Vicario» (3° 56' W - 39° 0' N), en Ciudad Real.

Dentro de la finca se reservaron dos parcelas contiguas, idénticas en forma y tamaño, que permitieron la rotación del cultivo en cada año. El suelo es de tipo franco-arenoso y su profundidad efectiva de 50-60 cm, ya que está limitado por un horizonte petrocálcico. Es rico en potasio (369 ppm, acetato amónico), con un contenido bajo en fósforo (11 ppm, Olsen) y nitrógeno (0,1 %, Kjeldahl) y medio en materia orgánica (2,15 %). Es ligeramente básico (8,1), con una conductividad eléctrica de 0,41 dS/m, lo que representa un nivel de salinidad tolerable por un cultivo de melón (Doorenbos y Kassam, 1986). La capacidad de retención del agua es de 167 mm/m y la tasa de infiltración basal media de 0,17 cm/min.

El diseño experimental de los ensayos fue en bloques completos al azar con cuatro tratamientos de riego y cuatro repeticiones.

El campo de melón tuvo una superficie de 180 × 80 m. En su interior se delimitó un rectángulo de 120 × 60 m, dejando el marco exterior con el fin de disminuir en lo posible el efecto borde. Este rectángulo se dividió en 16 parcelas de 30 × 15 m correspondientes a las cuatro repeticiones de los cuatro tratamientos de riego. Cada unidad experimental contenía un total de 200 plantas a un marco de 1,5 × 1,5 (veinte filas con diez plantas cada una), despreciándose para los controles la primera y última fila, y la primera y última planta de las restantes.

El riego fue por goteo, controlado por un programador. Se utilizaron goteros de 3 l/h y autocompensantes, distanciados 0,75 m dentro de cada línea portagoteros, y éstas separadas entre sí 1,5 m. Para mantener una emisión adecuada de riego se efectuaron revisiones periódicas del sistema y frecuentes limpiezas de los filtros de arena y mallas, y se previno el riesgo de obturaciones mediante acidificación del agua. Periódicamente se chequeó la instalación de riego, tanto de forma individualizada por sectores como de forma global, para comprobar el correcto funcionamiento de la misma. Para estas evaluaciones se utilizó la metodología de Merriam y Keller y del ASAE EP458, descritas por Rodrigo *et al.* (1992). Los resultados dieron un grado de aceptabilidad entre bueno y excelente.

El melón (*Cucumis melo* L. cv. Pinyonet-Piel de sapo) se sembró al aire libre con acolchado plástico el día 16 de abril en los dos años, produciéndose la emergencia el 6 y el 10 de mayo en 1996 y 1997, respectivamente. La incorporación de fertilizantes se realizó a través del sistema de riego y se aplicaron 90 UF de nitrógeno y 120 UF de fósforo en forma de solución nitrogenada 32 %, ácido nítrico y ácido fosfórico. Debido al alto contenido de potasio en el suelo, únicamente se aplicó una dosis de 2 L/ha del producto comercial Codifol «K», con una riqueza del 20 % p/p de K₂O como bioactivador. En 1996, un mes antes de la siembra, se aportaron 20 t/ha de estiércol de vacuno.

Al cultivo se le dio una serie de riegos de nascencia e implantación de aproximadamente 300 m³/ha. Los tratamientos diferenciales se iniciaron el 13 y 12 de junio en 1996 y 1997, respectivamente, cuando las plantas tenían 5-7 hojas verdaderas y terminaron el 2 de septiembre en el primer año y el 10 de septiembre en el segundo, después de la última recolección.

Los riegos se aplicaron diariamente con diferente dosis según el tratamiento: 1,25 NRc (TR₁); 1,00 NRc (TR₂); 0,75 NRc (TR₃); 0,50 NRc (TR₄), siendo «NRc» las necesi-

dades de riego calculadas a partir de la evapotranspiración del cultivo (ETc) de la semana precedente calculada según el método propuesto por Doorenbos y Pruitt (1977): $ETc = ETo \cdot Kc$. La precipitación efectiva fue despreciable, por lo que las necesidades de riego calculadas se equipararon a la ETc. La evapotranspiración de referencia (ETo) semanal se obtuvo a partir de la evaporación medida con un evaporímetro de cubeta clase A situado sobre una pradera de gramíneas bien regada en la estación meteorológica automática, que se encuentra a pocos metros de la parcela de ensayo y en donde también se midieron los demás parámetros climáticos. El coeficiente de cubeta (Kp) utilizado fue de 0,75. Éste había sido calibrado respecto a la ETo calculada por Penman-Montheith (Allen *et al.*, 1989). Semanalmente se calculó el coeficiente de cultivo (Kc) teniendo en cuenta los resultados de trabajos anteriores (Ribas *et al.*, 1995). La cantidad de agua a aplicar (Nb) en cada período se calculó como cociente entre la ETc de la semana anterior y la eficiencia del sistema, estimada en 0,81 (Rincón y Giménez, 1989). El resultado se dividió entre el número de días con el fin de obtener las necesidades de riego diarias. El control de las cantidades de riego aportadas, y por tanto de las desviaciones entre el riego programado y el realmente aplicado, se realizó mediante contadores volumétricos instalados a la salida de cada electroválvula.

A lo largo del ciclo del cultivo se determinó el índice de área foliar (LAI) a intervalos aproximados de dos semanas. Para ello, se tomaron dos plantas enteras de cada parcela cuyos limbos se pasaron a través de un medidor de área foliar Δ -T Devices LTD., Burwell, Cambrigde, England. El LAI se obtuvo dividiendo la superficie foliar entre la superficie de suelo correspondiente a dos plantas según el marco de plantación (2,25 m²).

Asimismo, se realizaron medidas periódicas de resistencia estomática (Rs) al alba entre las 4:30 y 5:30 hora solar (hs) en distintas fechas a lo largo del desarrollo del cultivo con un porómetro Δ -T Devices LTD., Burwell, Cambrigde, England. En días soleados se hicieron series de medidas desde el alba hasta el anochecer (21:00 hs) en intervalos de dos horas: dos series en 1996, en la fase de engorde de frutos (9/VII, a los 64 DDE) y en la primera recolección (30/VII, a los 85 DDE), y dos en 1997, coincidiendo con los mismos estados de desarrollo de las plantas que el año anterior (10/VII, a los 62 DDE y 12/VIII, a los 95 DDE, respectivamente). El día anterior a la realización de cada medida, y entre las series de medidas en los días completos, el porómetro se dejó en la parcela con la cabeza sensora entre las plantas para garantizar que ésta estuviera a la misma temperatura que el cultivo en el momento de la medida. De esta forma se evitó en lo posible el error debido a las diferencias de este parámetro. Las medidas se realizaron en el haz y en el envés de una hoja joven completamente desarrollada (4.^a-5.^a hoja desde el ápice) de una planta de cada parcela elemental, por ser las que mejor reaccionan a las condiciones del medio (Koutaki *et al.*, 1983). Se tomaron lecturas rápidas, no más de 2 min, evitando el calentamiento de la cabeza sensora. Los datos climáticos de radiación global y temperatura del aire se tomaron de una estación meteorológica automática Thies, Göttingen, Germany, situada a 50 m de la parcela experimental y la humedad relativa fue medida con la cabeza sensora del porómetro.

Una vez alcanzada la maduración de los frutos se inició la recolección de las parcelas, totalizándose cinco días de recolección en 1996 (2/VIII, 12/VIII, 19/VIII, 26/VIII y 2/IX, correspondientes a 88, 98, 105, 112 y 119 DDE, respectivamente) y cinco en 1997 (11/VIII, 21/VIII, 29/VIII, 4/IX 12/IX, correspondientes a 94, 104, 112, 118 y 126 DDE, respectivamente).

El tratamiento estadístico de los resultados se realizó mediante análisis de la varianza y test de comparación de medias de Duncan ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 presenta los valores de la ETo y de la ETc así como el riego teórico y el riego aplicado en los dos años de ensayo. El riego diferencial teórico corresponde a la cantidad calculada, y es la dosis que mediante la programación del riego se pretendió aportar al cultivo en cada uno de los tratamientos. El riego diferencial aplicado corresponde a la cantidad de agua registrada en cada uno de los cuatro contadores.

TABLA 1
RIEGO TEÓRICO Y APLICADO EN LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS DE RIEGO, EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ETc) Y EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ETo) EN 1996 Y 1997

Theoretical and applied irrigation water in the different irrigation treatments, crop evapotranspiration (ETc) and reference crop evapotranspiration (ETo) in 1996 and 1997

Año	Riego (mm)	TR ₁	TR ₂	TR ₃	TR ₄	ETc (mm)	ETo (mm)	
1996	Teórico	Inicial	30,5	30,5	30,5	30,5	37,0	113,4
		Diferencial	480,8	384,6 (Nb) *	288,5	192,3	318,7	377,2
		Total	511,3	415,1	319,0	222,8	355,7	490,6
	Aplicado	Inicial	30,1	30,0	30,8	29,4		
		Diferencial	492,3	400,0	303,8	210,3		
		Total	522,4	430,0	334,6	239,7		
1997	Teórico	Inicial	27,0	27,0	27,0	27,0	35,9	119,5
		Diferencial	459,1	367,3 (Nb) *	275,5	183,7	303,8	397,6
		Total	486,1	394,3	302,5	210,7	339,7	517,1
	Aplicado	Inicial	30,1	30,5	30,8	29,4		
		Diferencial	465,2	362,4	332,5	192,5		
		Total	495,3	392,9	363,3	221,9		

* El riego teórico del tratamiento TR₂ en el período de riegos diferenciales corresponde a las necesidades brutas calculadas (Nb).

The theoretical irrigation water of TR₂ treatment corresponds to the calculated irrigation water requirements (Nb) in the differential irrigation period.

Las diferencias entre el riego neto teórico del TR₂ (311,5 mm en 1996 y 297,5 mm en 1997) y la ETc, en el período de riegos diferenciales, fueron debidas al desfase temporal existente entre ambos parámetros, ya que el riego de una determinada semana fue calculado con la ETc de la semana precedente.

La diferencia entre el riego teórico y el realmente aplicado no superó el 5 %, salvo en los tratamientos TR₄ en 1996 y TR₃ en 1997 que fue del 7 y 17 %, respectivamente. En el primer caso, la diferencia fue debida a un retraso del cierre de la electroválvula al final de distintos riegos y en el segundo, a que durante la semana del 18 al 25 de julio, un fallo en la electroválvula hizo que el agua aplicada no fuera la programada (75 % NRc) lo que provocó que este tratamiento recibiera mayor dosis de agua (92 % NRc).

Evolución de la resistencia estomática al alba

En 1996, la Rs al alba en el haz (Fig. 1b) aumentó progresivamente en todos los tratamientos hasta alcanzar los valores más altos el día 19 de julio (74 DDE) coincidiendo con la máxima temperatura que fue de 17 °C (Fig. 1a). Estos valores máximos oscilaron entre 16,44 s/cm del tratamiento TR₄ y 8,27 s/cm del TR₁. Posteriormente, la Rs disminuyó de forma sucesiva hasta registrar los valores más bajos de 0,58 s/cm en el TR₂ y de 0,95 s/cm en el TR₄ a los 106 DDE. Por tanto, la Rs siguió una evolución semejante a la temperatura ya que, como apunta Kitano *et al.* (1983), este factor climático influye en la apertura estomática provocando una respuesta fisiológica en la hoja.

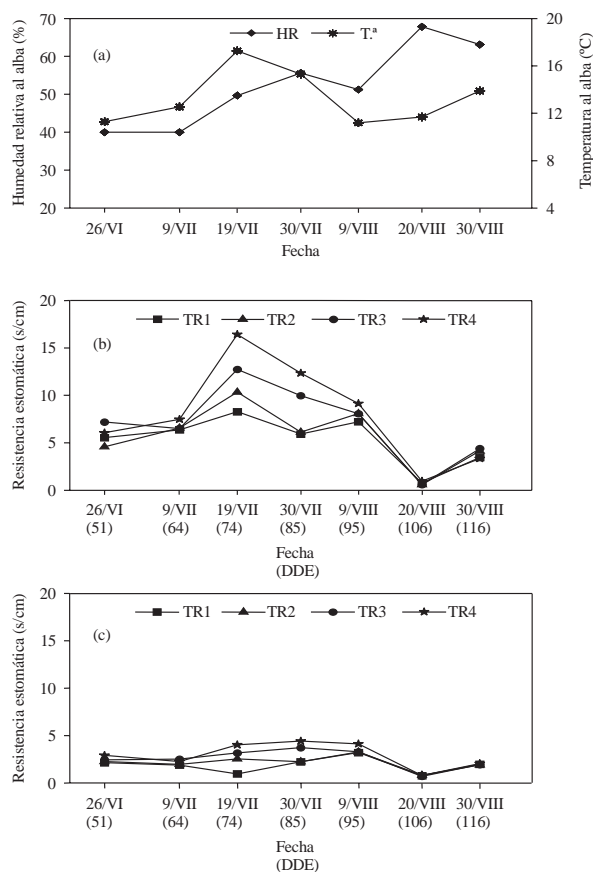


Fig. 1.—Evolución al alba de la humedad relativa (HR) y temperatura del aire (T.^a) (a), y resistencia estomática en el haz (b) y el envés (c) de hojas de melón en los distintos tratamientos de riego durante el ciclo de cultivo en 1996. Cada punto es la media de cuatro medidas

Predawn evolution of relative humidity (HR) and temperature of the air (T.^a) (a), and stomatal resistance on the adaxial (b) and abaxial (c) surfaces of melon leaves in the different irrigation treatments during the 1996 growth cycle. Each point is the average of four measurements

Los estomas del envés no respondieron de forma similar a las distintas condiciones del medio, obteniéndose valores de R_s más bajos (Fig. 1c), al igual que ocurre en otros cultivos como maíz y judía (Ribas *et al.*, 1988). Los valores máximos se alcanzaron el 30 de julio (116 DDE) en los dos tratamientos deficitarios ($3,72$ s/cm en el tratamiento TR_3 y $4,42$ s/cm en el TR_4) y el 9 de agosto (95 DDE) en los dos restantes ($3,21$ s/cm en el TR_1 y $3,26$ s/cm en el TR_2). Matsui *et al.* (1981), en *Cucurbita maxima* Duch, también obtuvieron distinto comportamiento de la R_s en las dos caras del limbo.

En 1997, la temperatura al alba durante todo el ciclo fue más estable y no superó los 13 °C (Fig. 2a), lo que podría explicar en parte el que los valores de R_s en el haz presen-

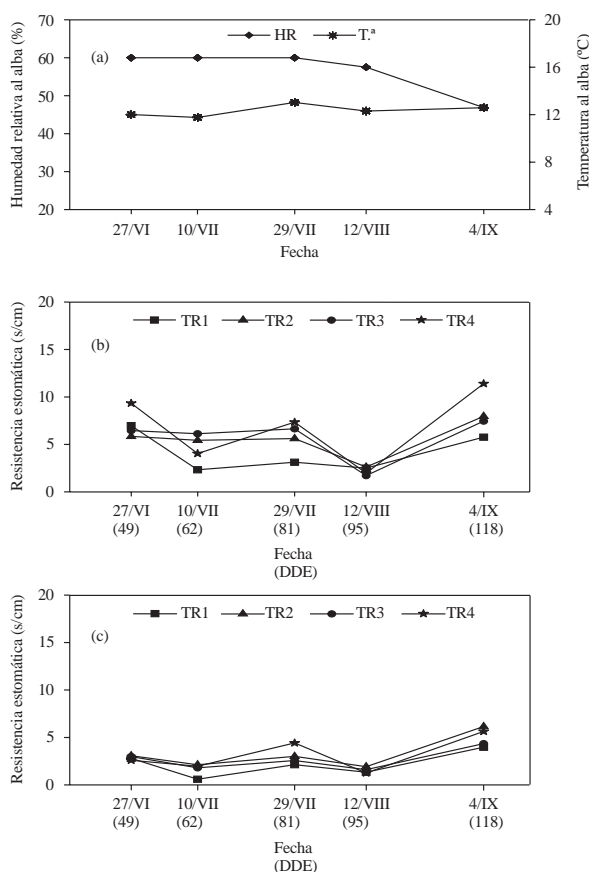


Fig. 2.—Evolución al alba de la humedad relativa (HR) y temperatura del aire ($T.^a$) (a), y resistencia estomática en el haz (b) y el envés (c) de hojas de melón en los distintos tratamientos de riego durante el ciclo de cultivo en 1997. Cada punto es la media de cuatro medidas
Predawn evolution of relative humidity (HR) and temperature of the air ($T.^a$) (a), and stomatal resistance on the adaxial (b) and abaxial (c) surfaces of melon leaves in the different irrigation treatments during the 1997 growth cycle. Each point is the average of four measurements

taran menos fluctuaciones y fueran más bajos que el año anterior (Fig. 2b). Así, el valor más alto fue de 11,41 s/cm en el tratamiento TR₁ a los 118 DDE, y los mínimos fueron de 2,33 s/cm en el TR₁ y de 1,71 en el TR₃ a los 62 y 95 DDE, respectivamente. En el envés, la evolución de la Rs fue semejante a la que presentó el haz aunque los valores, como en el año anterior, fueron más bajos (Fig. 2c). El valor mínimo fue de 0,60 s/cm en el tratamiento TR₁ a los 62 DDE, coincidiendo con una disminución de la temperatura.

Aunque la humedad relativa es otro factor climático que tiene una amplia repercusión en la apertura estomática (Kitano *et al.*, 1992), disminuyendo la resistencia a medida que ésta aumenta, su influencia no fue tan clara como en el caso de la temperatura.

No se encontraron diferencias significativas al comparar los valores de Rs obtenidos en los distintos tratamientos de riego, aunque se observó una cierta tendencia al aumento de este parámetro a medida que disminuyó la dosis de riego, de tal forma que los valores más bajos se dieron en el tratamiento 1,25 NRc. Esta falta de significación indica que el potencial de agua en la hoja también debió tener valores similares, concordando con los resultados obtenidos por Gallego y Castilla (1997) en mediciones del potencial hídrico al alba en melón en invernadero, que tampoco hallaron diferencias entre los tratamientos de riego (0,75 ETc; 0,40 ETc y 0,20 ETc) en ningún momento de su ciclo.

Resistencia estomática a lo largo del día

Las Figuras 3a, 4a, 5a y 6a muestran las oscilaciones horarias de la radiación global (RG), temperatura del aire (T.^a) y humedad relativa (HR) a lo largo de los cuatro días de medida. En 1996, los valores máximos de RG se alcanzaron al mediodía y fueron de 1022 y 936 W/m² los días 9 y 30 de julio, respectivamente, y de 989 y 882 W/m² los días 10 de julio y 12 de agosto en 1997.

La temperatura aumentó a lo largo del día hasta alcanzar máximos de 30,3 °C a 35,1 °C, entre las 15:00 y las 17:00 hs. La HR mínima osciló entre el 15 % y el 21 % en 1996, mientras que en 1997, los valores más bajos fueron del 30-35 %.

En el primer año, el día 9 de julio, los mínimos de Rs, 3,87 s/cm en el TR₃ en el haz (Fig. 3b) y 1,21 s/cm en el TR₁ en el envés (Fig. 3c), se midieron a las 13:00 y 7:00 hs, respectivamente. Estos valores fueron más altos que los registrados el día 30 de julio (Fig. 4b y c), 2,04 s/cm del TR₂ en el haz y 1,08 s/cm del TR₃ en el envés, que se obtuvieron a las 11:00 y 9:00 hs, respectivamente.

En 1997, la menor Rs del día 10 de julio, 1,04 s/cm en el haz y 0,41 en el envés, se midió a las 10:30 hs en el TR₃ (Fig 5a y b). El 12 de agosto, el valor más bajo en el haz de 1,43 s/cm se alcanzó a las 10:30 hs en el TR₄, mientras que en el envés el valor mínimo fue de 0,57 s/cm y se produjo a las 8:30 hs en el TR₂.

En los cuatro días de medida se produjo un fuerte aumento de la Rs a partir de las 16:30 hs, posiblemente como consecuencia de la baja humedad relativa y del rápido descenso de la radiación. Este comportamiento fue semejante al hallado por Holländer y Krug (1992), Chamont *et al.* (1995) en pepino.

No se apreciaron diferencias significativas de Rs entre los distintos tratamientos de riego en ninguna de las series de medidas, salvo el día 12 de agosto de 1997 en el envés de la hoja. En esta fecha, en el tratamiento TR₄ se obtuvo un valor (9,34 s/cm) significativamente mayor ($p \leq 0,05$) que en el resto de tratamientos (3,84 s/cm).

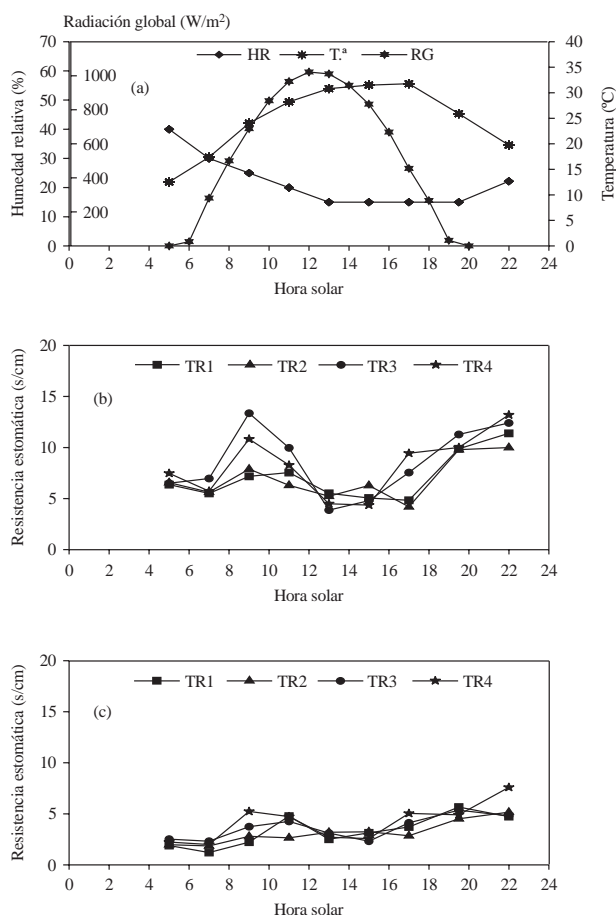


Fig. 3.—Evolución de la humedad relativa (HR), temperatura del aire (Tª) y radiación global (RG) (a), y resistencia estomática en el haz (b) y el envés (c) de hojas de melón en los distintos tratamientos de riego a lo largo del día 9/VII/96. Cada punto es la media de cuatro medidas
Evolution of relative humidity (HR), temperature of the air (Tª) and global radiation (RG) (a), and stomatal resistance on the adaxial (b) and abaxial (c) surfaces of melon leaves in the different irrigation treatments on July 9 1996. Each point is the average of four measurements

Kitano y Eguchi (1992a, 1992b, 1993) obtuvieron en pepino un cierre estomático como consecuencia de un desequilibrio en el balance hídrico de la planta, provocado por la fuerte evapotranspiración del mediodía. Este fenómeno no se observó en melón, excepto el 12 de agosto de 1997 (95 DDE) en el envés de las hojas del tratamiento menos regado. Sin embargo, la evolución de la Rs obtenida en condiciones de campo por estos autores a lo largo de un día caluroso y soleado fue, en líneas generales, semejante a la que se obtuvo en el melón durante los cuatro días de medida.

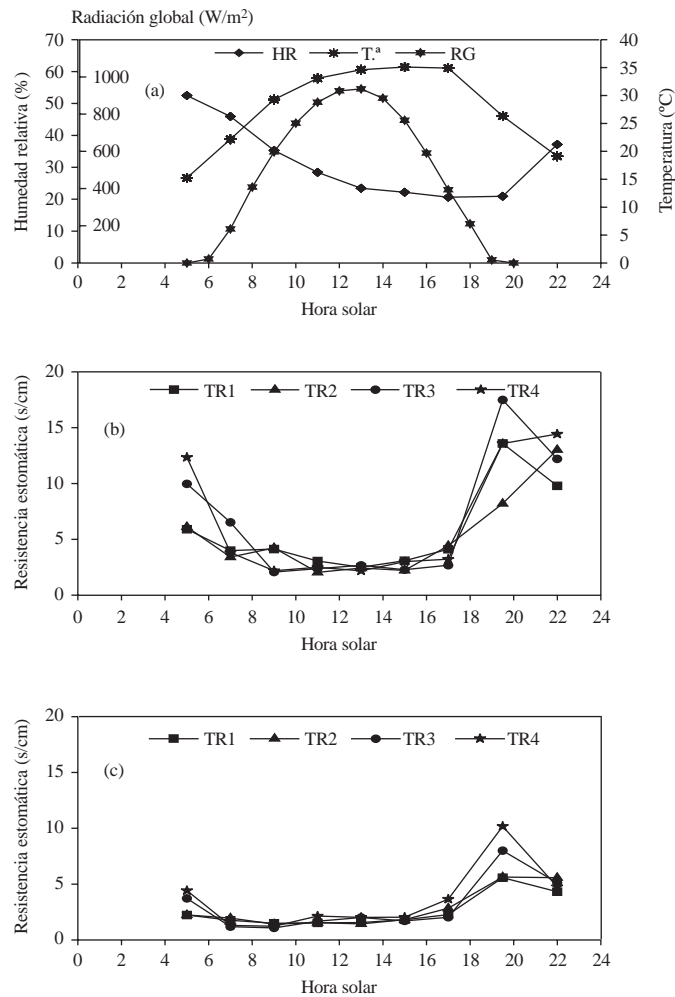


Fig. 4.—Evolución de la humedad relativa (HR), temperatura del aire (T.^a) y radiación global (RG) (a), y resistencia estomática en el haz (b) y el envés (c) de hojas de melón en los distintos tratamientos de riego a lo largo del día 30/VII/96. Cada punto es la media de cuatro medidas

Evolution of relative humidity (HR), temperature of the air (T.^a) and global radiation (RG) (a), and stomatal resistance on the adaxial (b) and abaxial (c) surfaces of melon leaves in the different irrigation treatments on July 30 1996. Each point is the average of four measurements

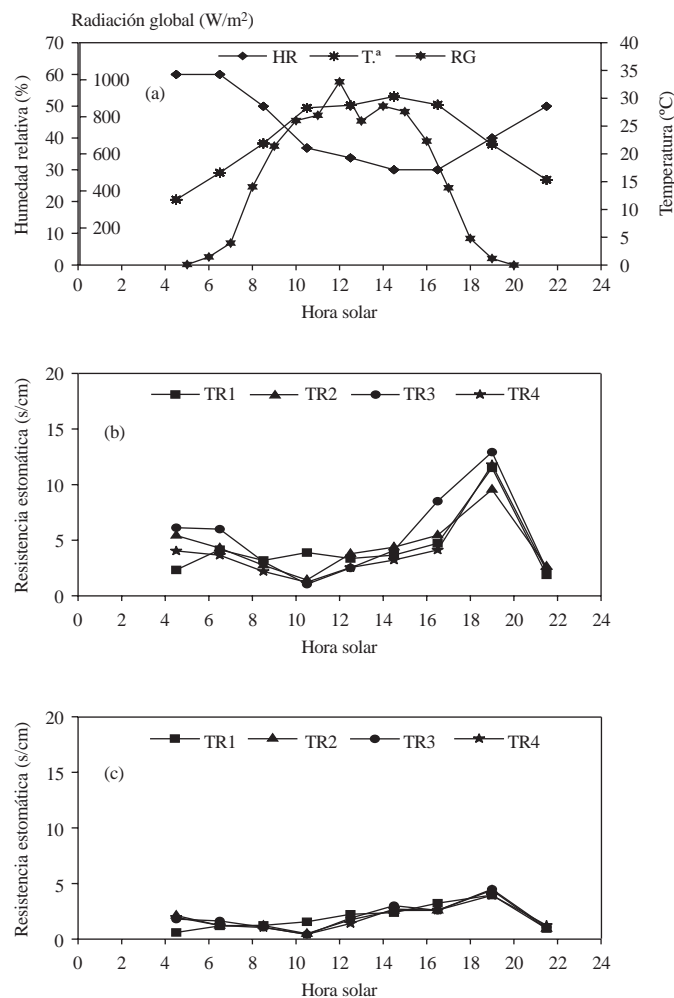


Fig. 5.—Evolución de la humedad relativa (HR), temperatura del aire (T.^a) y radiación global (RG) (a), y resistencia estomática en el haz (b) y el envés (c) de hojas de melón en los distintos tratamientos de riego a lo largo del día 10/VII/97. Cada punto es la media de cuatro medidas
Evolution of relative humidity (HR), temperature of the air (T.^a) and global radiation (RG) (a), and stomatal resistance on the adaxial (b) and abaxial (c) surfaces of melon leaves in the different irrigation treatments on July 10 1997. Each point is the average of four measurements

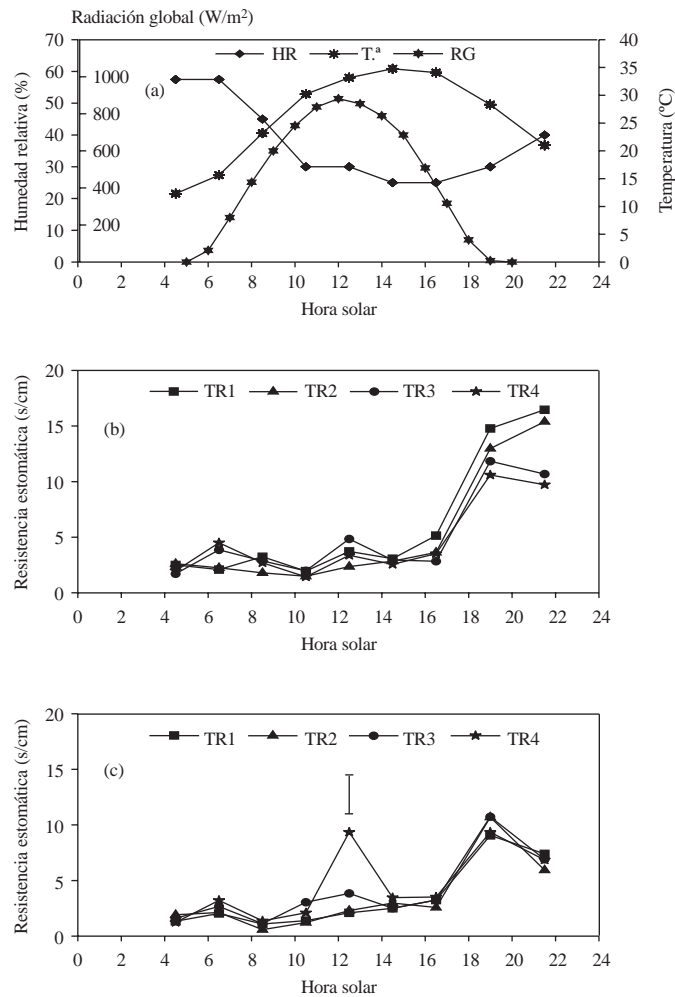


Fig. 6.—Evolución de la humedad relativa (HR), temperatura del aire (T.ª) y radiación global (RG) (a), y resistencia estomática en el haz (b) y el envés (c) de hojas de melón en los distintos tratamientos de riego a lo largo del día 12/VIII/97. Cada punto es la media de cuatro medidas. Las barras verticales representan la Mínima Diferencia Significativa entre tratamientos ($p \leq 0,05$)

Evolution of relative humidity (HR), temperature of the air (T.ª) and global radiation (RG) (a), and stomatal resistance on the adaxial (b) and abaxial (c) surfaces of melon leaves in the different irrigation treatments on August 12 1997. Each point is the average of four measurements. Vertical bars represent LSD within treatments ($p \leq 0.05$)

Relación de la Rs con el índice de área foliar (LAI) y la producción

En la Fig. 7 puede observarse la evolución del LAI a lo largo del ciclo del cultivo durante 1996 (a) y 1997 (b). El aumento de área foliar fue inapreciable hasta la floración femenina-cuajado de los primeros frutos (40-45 DDE en 1996 y 50-57 DDE en 1997). Posteriormente se produjo un rápido crecimiento, más acusado el primer año y en los tratamientos más regados.

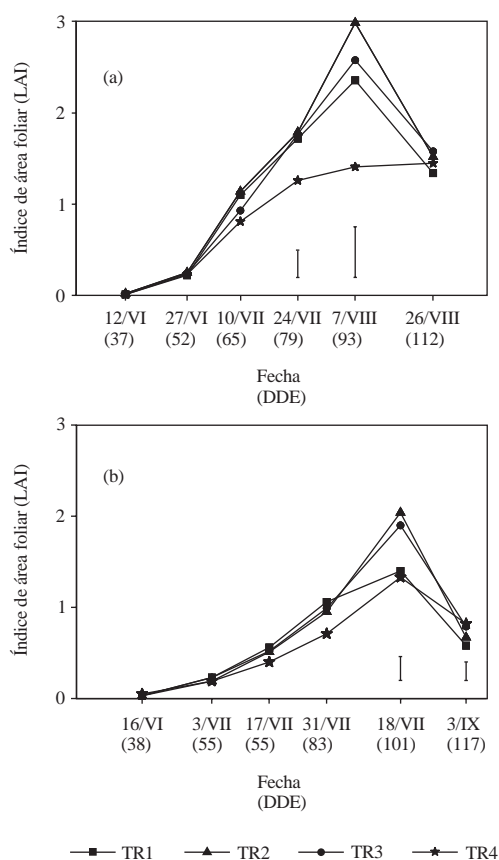


Fig. 7.—Evolución del índice del área foliar (LAI) del melón en los distintos tratamientos de riego durante 1996 (a) y 1997 (b). Cada punto es la media de cuatro medidas. Las barras verticales representan la Mínima Diferencia Significativa entre tratamientos ($p \leq 0,05$)

Evolution of melon leaf area index (LAI) in the different irrigation treatments during 1996 (a) and 1997 (b). Each point is the average of four measurements. Vertical bars represent LSD within treatments ($p \leq 0.05$)

El mayor aumento del LAI coincidió con la formación y engorde de los frutos, alcanzándose los valores máximos (2,9 en 1996 y 2,0 en 1997) en plena recolección, a los 93 y

101 DDE, respectivamente. Los resultados del primer año son superiores a los obtenidos en invernadero por Hara *et al.* (1987), Rincón *et al.* (1996), que obtuvieron valores muy próximos a 2. Sin embargo, Knavel (1988) obtuvo un LAI de 2,58 en cultivo al aire libre.

En 1996, a partir de la segunda mitad de la fase de engorde de frutos (79 DDE), el LAI fue significativamente inferior en el tratamiento más deficitario. No hubo diferencias entre tratamientos en la última fecha de control (112 DDE). En 1997, en el período de recolección (101 DDE), los valores de los tratamientos TR₂ y TR₃ fueron semejantes y significativamente mayores que los obtenidos en el TR₁ y TR₂.

En 1996, la mayor producción se alcanzó en el tratamiento 100 % NRC (Tabla 2) y fue de 35,6 t/ha, semejante a la obtenida por Baixauli *et al.* (1997a, 1997b) en invernadero en la Comunidad Valenciana, y aproximadamente un 30 % superior a la señalada por Ribas *et al.* (1995) con riego por aspersión. No se observaron diferencias significativas entre los tres tratamientos más regados, pero sí entre éstos y el tratamiento con mayor déficit hídrico ($p \leq 0,05$), en el que se produjo un descenso del rendimiento de un 41 % respecto del TR₂.

TABLA 2
PRODUCCIÓN (t/ha) EN LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS DE RIEGO
Production (t/ha) in the different irrigation treatments

Año	TR ₁	TR ₂	TR ₃	TR ₄
1996	34,9 a	35,6 a	33,2 a	21,1 b
1997	17,2 a	14,2 a	15,3 a	10,0 b

Para cada año, valores seguidos de distinta letra difieren con $p \leq 0,05$.

For every year, values followed by different letters differ with $p \leq 0.05$.

En 1997, el descenso de producción fue generalizado en toda la provincia y se produjo como consecuencia de las malas condiciones climáticas para el desarrollo y fructificación del melón. El rendimiento más alto de 17,2 t/ha se obtuvo en el tratamiento TR₁, seguido por el TR₃ y el TR₂ aunque sin diferencias significativas entre ellos. Igual que el año anterior, la producción fue significativamente inferior (30 %) en el tratamiento más deficitario.

Las producciones obtenidas son concordantes con las evoluciones del LAI, obteniéndose en los dos años los valores más bajos en los tratamientos que recibieron menos riego. Sin embargo, las diferencias entre tratamientos tanto de producción como de LAI no estuvieron relacionadas con los resultados de Rs.

El menor área foliar de los tratamientos deficitarios podría ser explicado por una reducción de la fotosíntesis por superficie de suelo, según las afirmaciones de Hsiao (1993), debido a que el crecimiento de la hoja es extremadamente sensible al estrés de agua, de forma que cuando la superficie de cubierta del cultivo está incompleta, incluso un ligero estrés hídrico reduce el crecimiento foliar y la formación de biomasa. Sin embargo, si la cubierta del cultivo está completa, sólo se reducen la apertura estomática y fotosíntesis por unidad de área foliar con un severo déficit hídrico (Hsiao, 1993; Hirasawa y Hsiao, 1999), mientras que un estrés ligero no tiene prácticamente ninguna repercusión.

La falta de significación de la R_s entre los distintos tratamientos difiere de los resultados obtenidos por algunos autores (Cho *et al.*, 1985; Janoudi *et al.*, 1993) en otras cucurbitáceas como el pepino (*Cucumis sativus* L). No obstante, Melkonian y Wolfe (1993, 1995) en unos ensayos con pepino, en los que sometían a toda la raíz de la planta a bajos potenciales de agua en el suelo, obtuvieron respuesta de la R_s y del crecimiento de la hoja. Sin embargo, la respuesta estomática no se producía si a la mitad de la raíz se la mantenía bien regada.

En nuestro ensayo todos los tratamientos recibieron riego diariamente, por lo que siempre hubo un bulbo húmedo debajo de los goteros, aunque de menor tamaño en los tratamientos con déficit que en los más regados. Por tanto, parte de las raíces de los tratamientos deficitarios estuvieron siempre en zona húmeda.

Esta situación hace que las experiencias se asemejen más a los ensayos de raíz dividida realizados por los autores antes citados, que a otros en los que se cortó totalmente el riego durante unos días, con lo que la raíz entera soportó la sequía.

Srinivas *et al.* (1989) también obtuvieron en sandía resultados concordantes con los aquí presentados. Observaron descensos en el porcentaje de agua y en el potencial osmótico de la hoja con el paso de los días después del último riego. Sin embargo, no se apreció este efecto en ningún momento del ciclo en las parcelas donde el riego fue diario, aunque deficitario (25 %, 50 % y 75 % de la evaporación).

El hecho de que no se obtuvieran diferencias significativas de la R_s entre los distintos tratamientos de riego no entra en contradicción con la menor producción que se obtuvo en los tratamientos menos regados ya que, a lo largo del desarrollo del cultivo, los tratamientos deficitarios tuvieron un menor crecimiento, adaptándose a las condiciones de escasez de riego y produciendo una menor cosecha. Este menor desarrollo determinó que a medida que avanzó el ciclo vegetativo sus necesidades hídricas disminuyeran en comparación con el tratamiento TR_2 (100 % NRc). Por tanto, una aplicación del 50 % de NRc (TR_4) supuso un déficit relativo de riego menor del 50 %.

Por otra parte, según Janoudi *et al.* (1993), la disminución de la fotosíntesis en plantas con estrés hídrico no se justifica solamente por una reducción de la conductancia estomática, sino también por un incremento de la concentración de asimilados en la hoja que provoca un cambio en el punto de compensación del CO_2 . Estas afirmaciones están apoyadas por los resultados obtenidos por otros autores como Mayoral *et al.* (1985) (citados por Marcellis, 1991); Goldsmid y Huber (1992); Melkonian y Wolfe (1993). No obstante, esto no ha sido constatado en este trabajo.

La disminución de cosecha en el tratamiento más deficitario se debió a un menor desarrollo de la superficie foliar y por tanto a una menor interceptación de la radiación solar, lo que provocó un continuo descenso de la fotosíntesis. Otros factores, como un posible cambio en el punto de compensación del CO_2 y un ligero aumento de la R_s a lo largo del ciclo, aunque en este caso las diferencias no tuvieron significación estadística, pudieron contribuir también al descenso del rendimiento.

CONCLUSIONES

La aplicación de dosis deficitarias de riego de forma constante y diaria produce una adaptación continua de las plantas, que ajustan la superficie foliar a la disponibilidad hídrica del suelo, provocando una disminución del rendimiento. Sin embargo, la resistencia estomática a lo largo del día no difiere de unos tratamientos a otros, respondiendo de forma semejante a los distintos factores ambientales. Lo mismo ocurre con el comportamiento de los estomas al alba a lo largo del ciclo del cultivo.

La resistencia estomática no es un buen indicador del estrés hídrico del melón cv. Pinyonet-Piel de Sapo cuando el cultivo se riega diariamente, aunque se aplique una dosis deficitaria.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria Agroalimentaria, Proyecto SC94-055.

SUMMARY

Physiological response of a melon crop to different watering regimes

In this paper, the results of stomatal resistance (R_s) obtained at different times of the day and on different dates at predawn during the growth cycle are shown with the purpose of evaluating the physiological response of the melon leaves under different water levels and its relationship with the evolution of leaf area index and yield. Water amounts were determined according to the watering needs (NRc) calculated on the basis of crop evapotranspiration (ETc). Four treatments were tested: 1.25 NRc; 1.00 NRc; 0.75 NRc y 0.50 NRc.

The stomatal behaviour was different on the adaxial and abaxial surfaces of leaves. The R_s values were higher on the adaxial surface. The watering regimes tested did not yield significantly different R_s values between the predawn measurements made along the growth cycle nor between the measurements made at different times of the day. The only exceptions were the noontime measurements taken the 12th of August in 1997 (95th day after emergence) when the stomatal resistance increased significantly on the abaxial surface of the leaf treated with the lowest water amount. However, the water deficit did induce a significant reduction of leaf area index and yield, therefore indicating that the stomatal resistance is not a good indicator of plant water status when the daily watering doses are deficient.

KEY WORDS: *Cucumis melo*
Drip irrigation
Water stress
Transpiration
Stomatal resistance

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN R. G., JENSEN M.E., WRIGHT J.L., BURMAN R.D., 1989. Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy Journal* 81, 650-662.
- BAIXAULI C., MAROTO J.V., TORRES J.M., MIGUEL A., LÓPEZ-GALARZA S., 1997a. Melón. Comportamiento productivo de diversos cvs bajo invernadero en ciclo otoñal tardío. *Agrícola Vergel* 181, 84-89.

- BAIXAULI C., MAROTO J.V., MIGUEL A., TORRES J.M., LÓPEZ-GALARZA S., 1997b. Cultivares de melón. *Horticultura* 119, 87-90.
- CHAMONT S., STRAINCHAMPS D., THUNOT S., 1995. Short- and long-term stomatal responses to fluctuations in environment in southern European greenhouses. *Ann. Bot.* 75 (1), 39-47.
- CHO T., EGUCHI H., KURODA M., TANAKA A., KOUTAKI M., LEK NG A., MAYSUI T., 1985. Effect of soil water potential on transpiration rate in cucumber plants. *Biotronics* 14, 1-6.
- DOORENBOS J., KASSAM A.H., 1986. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio F.A.O. Riego y Drenaje. 33. Ed. F.A.O., Roma, 212 pp.
- DOORENBOS J., PRUITT W.O., 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio F.A.O. Riego y Drenaje. 24. Ed. F.A.O., Roma, 194 pp.
- GALLEGO A., CASTILLA N., 1997. Riego deficitario por goteo del melón en invernadero. Actas de Horticultura. II Congreso Iberoamericano. III Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas, Vilamoura, pp. 66-70.
- GOLDSCHMIDT E.E., HUBER S.C., 1992. Regulation of photosynthesis by end-product accumulation in leaves of plants storing starch, sucrose and hexose sugars. *Plant Physiol.* 99, 1443-1448.
- HARA H., MASATOSHI I., TERURO M., 1987. Influence of the volume of plastic film covering on growth and yield in «Prince» melon (*Cucumis melo* L.). *Sci. Rep. Fac. Agr. Ibaraki Univ.* 35, 13-26.
- HATFIELD J.L., BURKE J.J., 1991. Energy exchange and leaf temperature behaviour of three plant species. *Environmental and Experimental Botany* 31 (3), 295-302.
- HIRASAWA T., HSIAO T.C., 1999. Some characteristics of reduced leaf photosynthesis at midday in maize growing in the field. *Field Crops Research* 62, 53-62.
- HSIAO T.C., 1993. Growth and productivity of crops in relation to water status. *Acta Hort.* 335, 137-148.
- HOLLÄNDER B., KRUG H., 1992. Effects of high CO₂-concentrations on vegetable species. II. Growth, CO₂ - gas exchange and stomatal resistance. *Gartenbauwissenschaft* 57 (1), 32-43.
- HOSOKI T., TSUCHIHASHI Y., ASAHIRA T., 1987. Difference in drought resistance in melons of different ecotypes II. Physiological differences. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 56 (3), 306-312.
- JANOUDI A.K., WIDDERS I.E., FLORE J.A., 1993. Water deficits and environmental factors affect photosynthesis in leaves of cucumber (*Cucumis sativus*). *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118 (3), 366-370.
- JOLLIET O., 1993. Modelling of water uptake, transpiration and humidity in greenhouses, and of their effects on crops. *Acta Hort.* 328, 69-78.
- KITANO M., EGUCHI H., 1992a. Dynamics of plant water relations as affected by evaporative demand. Proceedings of IFAC/ISHS Workshop on Mathematical and Control Applications in Agriculture and Horticulture. Pergamon Press, London, pp. 367-372.
- KITANO M., EGUCHI H., 1992b. Dynamics of whole-plant water balance and leaf growth in response to evaporative demand. I. Effect of change in irradiance. *Biotronics* 21, 39-50.
- KITANO M., EGUCHI H., 1993. Dynamic analysis of water relations and leaf growth in cucumber plants under midday water deficit. *Biotronics* 22, 73-85.
- KITANO M., EGUCHI H., MATSUI T., 1983. Analysis of heat balance of leaf with reference to stomatal responses to environmental factors. *Biotronics* 12, 12-27.
- KITANO M., HAMAKOGA M., EGUCHI H., 1992. Control of evaporative demand on transpiring plants. II. Control algorithm and performance. *Biotronics* 21, 61-68.
- KNAVEL D.E., 1988. Growth, development and yield potential of short-internode muskmelon. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113 (4), 595-599.
- KOUTAKI M., EGUCHI H., MATSUI T., 1983. Evaluation of stomatal activity by measuring leaf temperature dynamics. *Biotronics* 12, 29-42.
- MARCELIS L., 1991. Effects of sink demand on photosynthesis in cucumber. *J. Exp. Bot.* 42 (244), 1387-1392.
- MATSUI T., EGUCHI H., KOUTAKI M., 1981. Effects of environmental factors on leaf temperature in a temperature controlled room. III. Difference in leaf temperature between adaxial and abaxial surfaces in cotyledon of *Cucurbita maxima* Duch. *Environ. Control in Biol.* 19 (2), 69-72.
- MELKONIAN J., WOLFE D.W., 1993. An evaluation of hydraulic vs. nonhydraulic root signals controlling shoot response to soil water deficits in cucumber. *Acta Hort.* 335, 173-182.
- MELKONIAN J., WOLFE D. W., 1995. Relative sensitivity of leaf elongation and stomatal conductance of cucumber plants to changes in leaf and soil water potentials. *Can. J. Plant Sci.* 75, 909-915.
- PEARCY R.W., SCHULZE E.D., ZIMMERMANN R., 1991. Measurement of transpiration and leaf conductance. *Plant Physiol. Ecol.* Ed. Chapman and Hall, 457 pp.
- RIBAS F., BLANCO A., CABELLO M.J., TAPIA M., 1988. Influencia de la temperatura y radiación fotosintéticamente activa en la transpiración y resistencia estomática de algunos cultivos. Avances sobre la Investigación en Bioclimatología. Ed. C.S.I.C., Madrid, pp. 111-127.

- RIBAS F., CABELLO M.J., MORENO M.M., 1995. Necesidades de riego del melón y respuesta del cultivo a riegos diferenciales en la provincia de Ciudad Real. XIII Jornadas Técnicas sobre Riegos (Tenerife), pp. 12-20.
- RINCÓN L., SÁEZ J., PÉREZ J., MADRID R., 1996. Growth and nutrient absorption by muskmelon crop under greenhouse conditions. *Acta Hort.* 548, 153-159.
- RINCÓN L., GIMÉNEZ M., 1989. Fertirrigación por goteo del melón. *Fertilización* 105, 55-66.
- RODRIGO J., HERNÁNDEZ J.M., PÉREZ A., GONZÁLEZ J.F., 1992. Riego localizado. Ed. Mundi-Prensa-M. A. P. A., Madrid, 405 pp.
- SRINIVAS K., HEGDE D.M., HAVANAGI G.V., 1989. Plant water relations, canopy temperature, yield and water-use efficiency of watermelon *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum et Nakai under drip and furrow irrigation. *J. Hort. Sci.* 64(1), 115-124.