

por Chalmers *et al.* (1981) y consiste en reducir la cantidad de agua aplicada al frutal durante períodos fenológicos definidos, donde se están realizando procesos poco sensibles al estrés hídrico, sin afectar significativamente el rendimiento y la calidad de la fruta. Por su parte English *et al.* (1990) indicaron que los beneficios potenciales del DRC se centran en tres factores: 1) se incrementa la eficiencia en el uso del agua, 2) se reducen los costos de riego y 3) se hace un uso sustentable del recurso.

Uno de los procesos fisiológicos menos sensibles al estrés hídrico es la translocación de carbohidratos o materia seca (Faust, 1989). Así que esta información se ha utilizado para aplicar el DRC en manzano, donde el crecimiento del fruto, en la etapa I, se da principalmente con base en división celular, en la etapa II, donde el fruto crece con base en división y alargamiento celular, y la etapa III, donde el fruto crece por alargamiento celular (Ryugo, 1988); de tal manera que es posible aplicar un déficit de riego en la etapa I y parte de la etapa II, pues el fruto crece a expensas de carbohidratos que el árbol almacenó en el tallo y raíces, y que cuando rebrota, se translocan hacia los puntos de demanda, esta etapa comprende de 6 a 8 semanas después de la floración. Sin embargo, un déficit de riego al final de la etapa II y durante la etapa III, los parámetros que definen calidad de la fruta se ven fuertemente afectados si el estrés es muy severo (Li *et al.*, 1989; Behboudian y Mills, 1997; Marsal y Girona, 1997).

El tamaño del fruto es uno de los parámetros que definen la calidad en manzano. Esta característica es afectada por carga de fruta y déficit de agua; sin embargo, en manzano es posible ahorrar agua aplicando la estrategia de DRC sin ningún demérito significativo de la producción y calidad de la fruta en la etapa I y parte de la etapa II (Mitchell *et al.*, 1984; Berman y DeJong, 1996; Mills *et al.*, 1996).

En trabajos realizados por Girona *et al.* (1990) de durazno en California se han encontrado ahorros de agua hasta del 40 % aplicando el DRC en la etapa I y II del crecimiento del fruto. Los mismos autores indican que el tipo de suelo es importante para obtener buenos resultados con el DRC, ya que cuando la infiltración es lenta, se impide la recuperación del árbol a la velocidad deseada y, se presentan frutos de menor tamaño que en suelos con una buena infiltración.

En almendro se han obtenido ahorros de agua hasta del 62 % aplicando la técnica del DRC, sin afectar la calidad y el rendimiento de la almendra (Girona, 1992), mientras que en limón se han obtenido ahorros de agua entre un 20 y 30 %, afectando el crecimiento vegetativo y en algunos casos el tamaño del fruto (Domingo, 1994).

En frutales caducifolios, como el manzano, se presentan algunos mecanismos de adaptación a estrés hídrico. Estos pueden ser bioquímicos, fisiológicos,

anatómicos y morfológicos. Se pueden presentar tanto en hojas como en la raíz, tal es el caso de ajuste osmótico, regulación del comportamiento estomático, caída de hojas, profundidad del sistema radical, ramificación del mismo, acumulación de prolina, de ácido abscísico, de K, de Ca, etc. Estos mecanismos hacen que los órganos de la planta como hojas y frutos se mantengan turgentes y, por lo tanto, se puedan llevar a cabo procesos fisiológicos que permitan mantener la calidad de la fruta y el rendimiento (Marsal y Girona, 1997; Naor *et al.*, 1999).

Por lo antes expuesto, el objetivo del presente trabajo fue conocer como afecta la carga del fruto y la humedad en el suelo, aplicado el DRC en un estado tardío de desarrollo del fruto de manzano, en la calidad del fruto, el rendimiento, el área de tronco y el retorno de floración.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la Estación Agrícola Experimental de Nueva York, en Geneva, NY, en el año 2004, en árboles de manzano 'Empire/M.9' de 4 años de edad, plantados en macetas de 45.6 litros y como sustrato se utilizó suelo franco-arenoso. El sistema de riego fue por goteo superficial con un gotero por árbol, donde se regó dos horas, cada tercer día. La fertilización fue de 20 g por árbol por semana de una mezcla comercial de 10-20-30 % de N, P y K. Se establecieron tres niveles de carga de fruta (CF) (1, 3 y 6 frutos por centímetro cuadrado de área de tronco) y dos niveles de humedad, uno con riego continuo (BR) y el otro con dos períodos de sequía en la fase final de crecimiento del fruto (DRT). El diseño experimental fue bloques completos al azar, con 5 repeticiones y un árbol como unidad experimental. La prueba de medias utilizada fue Tukey ($P \leq 0.05$) y el paquete estadístico fue CoStat versión 3.03 (COSTAT, 1989). Se monitoreó humedad en el suelo (%) utilizando un TDR con dos puentes, tomando dos lecturas por maceta cada semana, una a cada lado de la misma. El potencial hídrico de la hoja (MPa) se registró una hora después de haber estado cubierta con una bolsa de plástico y aluminio, para lograr un equilibrio entre el potencial hídrico de la hoja y el tallo del árbol. Para ello se utilizó la bomba de Presión de Scholander. La fotosíntesis se registró con un Analizador de Gases Modelo LI-6400 (LI-COR, Inc., Lincoln, NE., USA), tomando hojas del brote del año y expuestas a la luz. La calidad del fruto se tomó considerando peso del mismo, sólidos solubles totales, almidón y firmeza. La producción se registró al cosechar el árbol completo una vez que el fruto estaba maduro. El retorno de floración se registró contando el número de racimos florales que el árbol emitió en abril del 2005.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Área de la sección transversal del tronco (ASTT)

El ASTT se ve afectada por la disponibilidad de

humedad en el suelo (Cuadro 1). Antes de establecer el experimento esta variable fue estadísticamente igual pero después de un año, y bajo el efecto de los tratamientos aplicados, el ASTT se reduce significativamente en el tratamiento donde se dieron los dos ciclos de sequía. Esto indica que los niveles de humedad que se deben aplicar en la estrategia de déficit de riego controlado, ya sea temprano a tardío, debe ser con base en parámetros fisiológicos del árbol, o bien, con base en la humedad disponible en el perfil del suelo, para no afectar la calidad de fruto y la producción. El efecto de la humedad en el suelo sobre la reducción del vigor del cultivar en estudio es importante, pues es una estrategia que se utiliza para reducir el crecimiento vegetativo en árboles muy vigorosos y poder manejar medianas o altas densidades de plantación, con todas las ventajas que con ellas se tiene (Mitchell *et al.*, 1984).

Densidad de floración

Al someter el árbol a un estrés moderado de humedad, la respuesta fue producir mayor cantidad de racimos florales por ASTT, lo que indica un buen retorno de floración para el siguiente año (2005), en el tratamiento de déficit de riego tardío (DRT). Esta respuesta natural del árbol de producir mayores puntos de fructificación probablemente se deba a que el árbol dispone de mayores reservas para diferenciación y menos para crecimiento vegetativo (Cuadro 1). El número de frutos, el rendimiento por árbol, el peso del fruto y la eficiencia de producción están directamente relacionados con los tratamientos aplicados como carga de fruto, por lo tanto, es posible que estos árboles puedan soportar una carga de seis o más frutos por ASTT.

Humedad en el suelo

El primer ciclo de sequía aplicado fue de 13 días (del 21 de julio al 3 de agosto), después se dio un riego de

recuperación por 20 días (del 4 al 21 de agosto), para posteriormente iniciar el segundo ciclo de sequía con una duración de 17 días (del 22 de agosto al 6 de septiembre). Posteriormente se regó normalmente hasta la cosecha (5 de octubre). En los dos ciclos de sequía el árbol fue sometido a un estrés hídrico severo (Figura 1), cercano a punto de marchites permanente (4.7 % de humedad), pero por un corto período (uno o dos días), lo que indica que el árbol de manzano desarrolla procesos fisiológicos que le permiten mantener niveles de turgencia para realizar la fotosíntesis, aunque a bajos niveles y, recuperarse rápidamente una vez reanudado el riego en forma normal (Wang y Stutte, 1992; Wang *et al.*, 1995). Durante los riegos de recuperación, los niveles de humedad llegaron a capacidad de campo (28 %), similar al tratamiento bien regado. La humedad en el suelo es un factor determinante para la transpiración, transporte y apertura estomática, y con ello la fotosíntesis y el potencial hídrico en la hoja. Cuando se aplica un estrés hídrico tarde en la temporada, el efecto en el crecimiento vegetativo es menor, así como en la producción, sin embargo, puede inhibir el desarrollo potencial del fruto y dar como resultado frutos

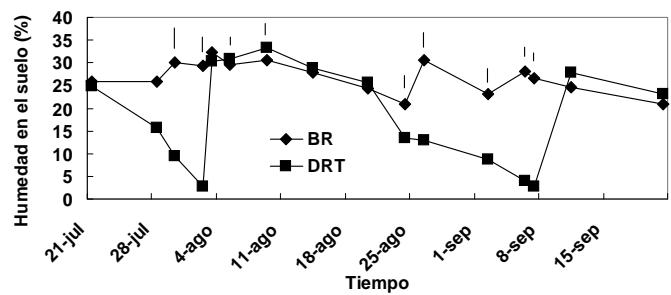


FIGURA 1. Dinámica de humedad en el suelo (%) en manzano Empire/M.9 en dos niveles de humedad (BR=Bien regado; DRT=Déficit de riego tardío). Las barras indican diferencias significativas de acuerdo con Tukey ($P \leq 0.05$).

CUADRO 1. Características del manzano Empire/M.9 en dos niveles de humedad (BR=Bien regado; DRT=Déficit de riego tardío) y tres cargas de fruto (1, 3 y 6 fruto-cm⁻² de área de tronco).

Trats.	ASTT (cm ²)		Densidad de floración (Racimos/ASTT)		N.º de frutos a cosecha	Producción (kg·árbol ⁻¹)	Peso por fruto (g)	Efic. de producción (kg·cm ⁻²)
	2004	2005	2004	2005				
Carga de fruto								
1	4.09	5.58 a ^z	18.21	11.45	3.3 c	0.788 c	237 a	0.141 c
3	3.78	4.96 ab	16.50	10.87	10.2 b	2.366 b	233 ab	0.477 b
6	3.58	4.59 b	16.17	9.8	16.9 a	3.648 a	218 b	0.794 a
LSD _{P≤0.05}	0.67	0.67	3.16	2.9	3.66	0.743	17.4	0.129
Humedad								
BR	3.95	5.36 a	16.84	29.17 b	10.33	2.29	226	0.453
DRT	3.67	4.72 b	17.07	12.24 a	9.920	2.24	232	0.488
LSD _{P≤0.05}	0.55	0.55	2.58	2.39	2.99	0.606	14.2	0.105
C.V. (%)	18.3	14.8	19.9	29.3	38.8	35.2	8.3	29.5

^zValores con la misma letra dentro de factor en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una ($P \leq 0.05$).

ASTT: área de la sección transversal del tronco (cm²); LSD: diferencias mínimas significativas; C.V.: coeficiente de variación.

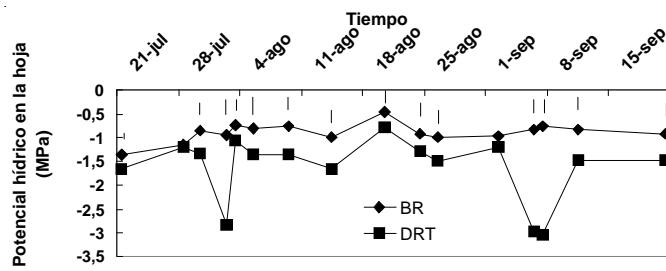


FIGURA 2. Dinámica en el potencial hídrico en la hoja (MPa) de manzano Empire/M.9 con dos niveles de humedad (BR: Bien regados; DRT: Déficit de riego tardío). Las barras indican diferencias significativas de acuerdo con Tukey ($P \leq 0.05$).

pequeños. Lo anterior está determinado por la severidad del estrés y por el tiempo de aplicación (Lakso, 1994; Behboudian y Mills, 1997). Esto indica que en este estudio los niveles de estrés fueron moderados, pues no se afectó la calidad y la producción de frutos por árbol (Cuadro 1).

Potencial hídrico en la hoja

El potencial hídrico en la hoja fue estadísticamente menor en los árboles sometidos al tratamiento con sequía (Figura 2), aún durante el periodo de recuperación del árbol. Lo que indica que bajo las condiciones de estudio, en maceta, la raíz no tiene oportunidad de explorar más suelo y tal vez por ello no se recupera al 100 % de su capacidad. Todos los procesos de la planta que impliquen crecimiento por división celular son muy sensibles a estrés hídrico. Por lo tanto, un estrés hídrico al inicio de la temporada, cuando

se da el desarrollo del fruto y hay actividad meristemática importante, se puede tener un fuerte efecto en el crecimiento, tanto del brote como del fruto (Li *et al.*, 1989; Marsal y Girona, 1997), pero si el estrés hídrico ocurre tarde en la temporada, el efecto en el crecimiento del brote y la producción es menor. Esta respuesta está en función de la intensidad y la duración del estrés aplicado (Berman y DeJong, 1996).

Relación entre potencial hídrico y humedad en el suelo

Se encontró una relación significativa entre humedad en el suelo y el potencial hídrico de la hoja en los dos ciclos de sequía, justo antes de aplicar el riego de resuperación (Figura 3A y 3C). La recuperación de los árboles sometidos a estrés hídrico en ambos ciclos es lenta (Figura 3B y 3D), en algunas plantas se observó abscisión de las hojas basales del brote, en el tratamiento de máxima carga de fruto. En condiciones de campo, donde el sistema radical está en contacto con un mayor volumen de suelo, se esperaría que, tanto el abatimiento de la humedad como el potencial hídrico en la hoja sea más gradual y lleve más tiempo para llegar a niveles severos de estrés hídrico. En este sentido, el portainjerto también juega un papel importante en la mayor o menor capacidad de tolerar déficit de humedad mayores y por más tiempo (Atkinson *et al.*, 1999; Klamkowski-Krzysztof, 2002). El estrés hídrico aplicado en los dos ciclos fue paulatino, donde se observó una disminución gradual de la humedad en el suelo y con ella, el potencial hídrico de la hoja también diminuyó (Figuras 1 y 2), lo que indica que la humedad en el suelo es un parámetro que se puede utilizar para definir el calendario de riego en manzano (Rumayor y Bravo, 1991). El déficit de riego tardío (DRT) aplicado en los dos ciclos de sequía,

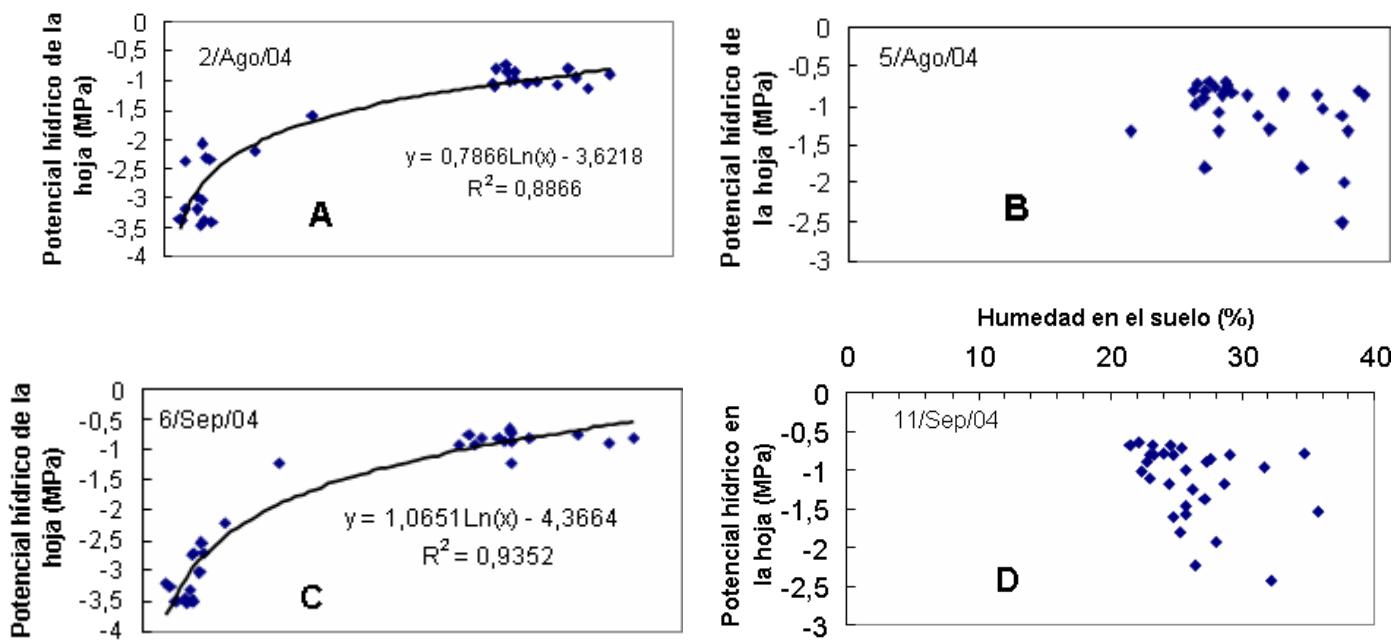


FIGURA 3. Relación entre humedad en el suelo (%) y el potencial hídrico en la hoja (MPa), al final del 1er. y 2do. ciclo de sequía (A y C) y 3 y 5 días después del riego de recuperación en el 1er. y 2do. ciclo de sequía respectivamente (B y D).

permite confirmar que no se afecta la calidad de la fruta y la producción está en función de los niveles de carga dados.

Crecimiento del fruto

La disponibilidad de humedad en el suelo es un factor determinante en el crecimiento del fruto, en especial durante la etapa I, donde ocurre la división celular, pero no deja de ser importante el crecimiento del fruto por alargamiento celular, el cual ocurre en manzano durante parte de la etapa II y durante la etapa III (Ryugo, 1988 y Faust, 1989). El efecto de estrés hídrico está en función de la severidad y el tiempo que se someta la planta a esta condición, así que, en este trabajo no se observa un efecto negativo debido a un estrés hídrico tardío (etapa III, alargamiento celular) durante el desarrollo del fruto, concordando con Chalmers *et al.* (1981), pero la carga del mismo si afecta el tamaño del fruto, donde a mayor carga, menor crecimiento (Figura 4). Debido a este efecto de carga de fruto sobre el tamaño, la práctica de raleo de fruto es de suma importancia en la producción comercial de manzana, sobre todo para obtener mayores calibres y evitar la alternancia en cultivares genéticamente con más problemas.

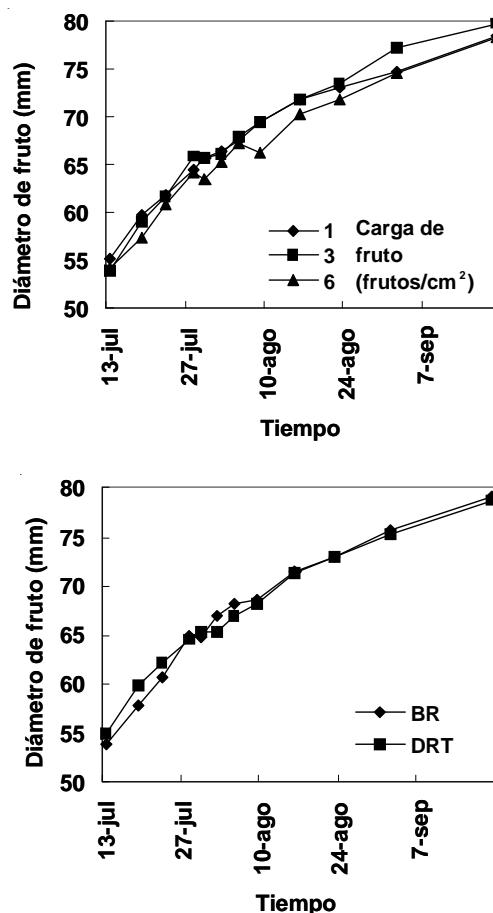


FIGURA 4. Dinámica en el crecimiento del fruto de manzana Empire/M.9 con diferentes niveles de humedad (BR: Bien regados; DRT: Déficit de riego tardío) y carga de fruto (1, 3 y 6 frutos por cm² de área de tronco).

Fotosíntesis

La absorción de CO₂ es fundamental para la realización del proceso de fotosíntesis (Pn) en la hoja, sin embargo, la apertura y cierre de estomas está fuertemente afectado por el nivel de humedad en el suelo y la carga de fruto en el árbol (Palmer *et al.*, 1997). En este estudio se encontró que la humedad en el suelo afecta significativamente la fotosíntesis al final del 1er. y 2do. ciclo de sequía (Figura 5A y 5B), donde a menor humedad en el suelo, menor fotosíntesis, tomados dos días antes de aplicar el riego de recuperación. El nivel de carga de frutos no afecta la fotosíntesis cuando hay suficiente humedad en el suelo, pero cuando el estrés hídrico es severo, la fotosíntesis se reduce a medida que aumenta la carga de fruto (Figura 5A y 5C).

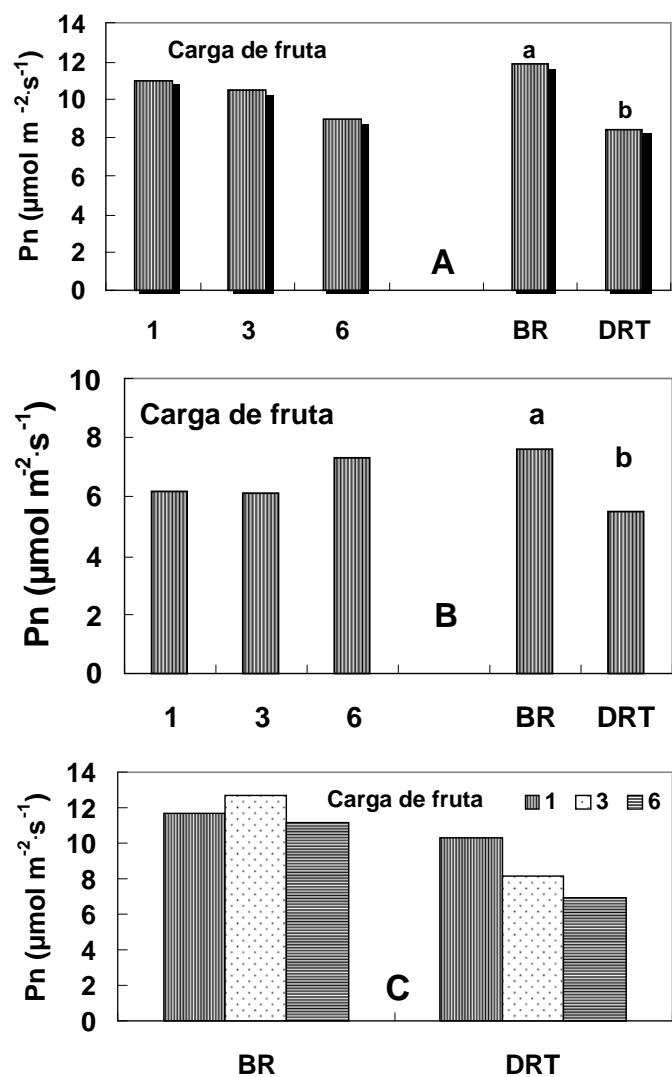


FIGURA 5. Efecto de carga de fruto y humedad en el suelo en la fotosíntesis (Pn) del manzano Empire/M.9. A y B: Datos tomados dos días antes de finalizar el 1er. y el 2do. ciclo de sequía respectivamente; C: Datos tomados dos días antes de finalizar el 1er. ciclo de sequía; BR: Bien regados; DRT: Déficit de riego tardío. Barras con la misma letra son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una ($P \leq 0.05$).

CUADRO 2. Calidad de fruto de manzano Empire/M.9 afectado por carga del fruto y humedad en el suelo.

Tratamientos	Firmeza (lb.in ⁻²)	Sólidos Solubles Totales (%)	Almidón (escala del 1 al 6)
Carga de fruta			
1	15.8 a ²	14.1 a	6.0a
3	15.6 a	13.9 a	5.1a
6	14.9 a	13.8 a	5.7a
LSD _{P<0.05}	1.04	0.65 a	0.75
Humedad			
BR	15.3 a	13.8 a	5.7a
DRT	15.6 a	14.1 a	5.8a
LSD _{P<0.05}	0.62	0.54	0.62
C.V.	5.3	5.1	14.1

²Valores con la misma letra dentro de factor en cada columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una ($P<0.05$).

BR: bien regados; DRT: déficit de riego tardío; LSD: diferencias mínimas significativas; C.V.: coeficiente de variación.

Calidad de fruto

La firmeza, los sólidos solubles totales y el almidón no fueron afectados por los tratamientos aplicados. Se observa una mayor concentración de sólidos solubles totales a medida que se aplica un estrés hídrico moderado (Parra y Ortiz, 2003).

CONCLUSIONES

El déficit de riego tardío no afecta la calidad interna de fruto. La producción, el peso del fruto y la eficiencia de producción están en función de la carga del fruto. El déficit de riego aplicado afecta el crecimiento del árbol, pero favorece la densidad de floración.

LITERATURA CITADA

- ATKINSON, C. J.; POLICARPO, M. A.; WEBSTER, A. D.; KUDEN, D. M. 1999. Drought tolerance of apple rootstocks: Production and partitioning of dry matter. *Plant and Soil* 206: 223-235.
- BEHBOUDIAN, M. H.; MILLS, T. M. 1997. Deficit irrigation in deciduous orchards. *Hort. Rev.* 21: 105-131.
- BERMAN, M. E.; DEJONG, T. M. 1996. Water stress and crop effects on fruit fresh and dry weight in peach (*Prunus persica*). *Tree Physiol.* 16: 859-864.
- CHALMERS, D. J.; MIRCHELL, P. D.; VAN HEEK, L. 1981. Control of peach growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106: 307-312.
- DOMINGO, R. 1994. Respuesta del limonero fino al riego deficitario controlado. Aspectos Fisiológicos. Tesis Doctoral, Universidad de Murcia, España, 237 p.

- ENGLISH, M. J.; MUSICH, J. T; MURTY, V. V. N. 1990. Deficit irrigation. In: HOFFMAN, G. F.; HOWELL, T. A.; SOLOMAN, K. H. Ed. *Management of Farm Irrigation Systems*, ASAE, St. Joseph, MI.
- FAUST, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit tree*. Wiley-Interscience. New York.
- GIRONA, J.; RUIZ-SÁNCHEZ, M. C.; GOLDHAMER, D.; JOHNSON, S.; DEJONG, T. 1990. Late maturing peach response to controlled deficit irrigation: seasonal and diurnal pattern of fruit growth, plant and soil water status, CO_2 uptake and yield 2 years results. *XXIII International Hort. Cong. Firenze, Italy*, 1: 284.
- GIRONA, J. 1992. Estrategias de riego deficitario en el cultivo de almendro. *Fruticultura Profesional*. 47: 38-45.
- KLAMKOWSKI-KRZYSZTOF, W. T. 2002. Influence of a rootstock on transpiration rate and changes in diameter of an apple tree leader growing under different soil water regimes. *J. Fruit and Ornamental Plant Res.* 10: 31-39.
- LAKSO, A. N. 1994. Apple. p. 3-42. In: Schaffer, B.F.; Andersen, P.C. Eds., *Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops*. Vol. 1, CRC Press, Boca Raton, Fla. USA.
- LI, S. H.; HUGUET, J. G.; SCHOCH, O. G.; ORLANDO, P. 1989. Response of peach tree growth and cropping to soil water deficit at various phonological stages of fruit development. *J. Hort. Sci.* 64: 541-552.
- MARSAL, J.; GIRONA, J. 1997. Relationship between leaf water potential and gas exchange activity at different phonological stages and fruit loads in peach trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122(3): 415-421.
- MILLS, T. M.; BEHBOUDIAN, M. H.; CLOTHIER, B. E. 1996. Water relation, growth and the composition of Braeburn apple fruit under deficit irrigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121(2): 286-291.
- MITCHELL, G. H.; JERIE, P. H.; CHALMERS, D. J. 1984. The effects of regulated water deficit on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109(5): 604-606.
- NAOR, A.; KLEIN, I.; HUPERT, H.; GRINBLAT, Y.; PERES, M.; KAUFMAN, A. 1999. Water stress and crop level interaction in relation to nectarine yield, fruit size distribution, and water potentials. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124(2): 189-193.
- PARRA Q., R. Á.; ORTIZ F., P. 2003. Manejo del riego en manzano mediante Déficit de Riego Controlado (DRC). IX Simposium Internacional sobre el Manzano "Agua y conservación del Ecosistema". 5, 6, 7 y 8 de Noviembre del 2003. Cd. Cuauhtémoc, Chih., México.
- RUMAYOR, A.; BRAVO, A. 1991 Effect of three systems and levels of irrigation apple trees. *Scientia Hort.* 47: 67-75.
- RYUGO, K. 1988. *Fruit culture: Its science and art*. Wiley, New York.
- PALMER, J. W.; GIULIANI, R.; ADAMS, H. M. 1997. Effect of crop load on fruiting and leaf photosynthesis of Braeburn/M.26 apple trees. *Tree Physiol.* 17: 741-746.
- WANG, Z.; STUTTE, G. W. 1992. The role of carbohydrates in active osmotic adjustment in apple under water stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(5): 816-823.
- WANG, Z.; QUEBEDEAUX, B.; STUTTE, G. W. 1995. Osmotic adjustment: Effect of water stress on carbohydrates in leaves, stems and roots of apple. *Austr. J. Plant Physiol.* 22: 747-754.