

PRODUCTIVIDAD Y CRECIMIENTO DE MANZANO BAJO DÉFICIT DE RIEGO CONTROLADO

Productivity and Growth of Apple Under Controlled Deficit Irrigation

Rafael Ángel Parra Quezada^{1‡}, Pedro Ortiz Franco¹, Jesús Pilar Amado Álvarez² y Noe Chávez Sánchez²

RESUMEN

Todo el norte de México es árido. El agua en general es cada vez más escasa y de menor calidad. El 95% de las cerca de 30 000 ha que se cultivan con manzano en Chihuahua es de riego, con extracciones de agua provenientes del subsuelo, con riego por sistemas de bombeo, donde el 90% de los acuíferos se encuentran sobreexplotados. El objetivo del presente trabajo fue conocer el efecto del déficit de riego controlado (DRC) y el riego subterráneo en la productividad del agua, crecimiento vegetativo, producción y calidad de manzana. El estudio se realizó durante el ciclo 2003, en un huerto de manzano con el cultivar Top Red Delicious, de 20 años de establecido. Se definieron cuatro tratamientos y ocho repeticiones; las variables evaluadas se analizaron utilizando el diseño experimental completamente al azar, considerando un árbol como unidad experimental de trabajo. Los resultados obtenidos indican que con un riego a capacidad de campo en brotación, luego dejar de regar durante 49 días y reanudar el riego normal hasta la cosecha, se puede obtener un ahorro de agua de 60%, un incremento en la producción de fruta de hasta 27% y una productividad en el uso del agua hasta tres veces mayor (7.68 contra 2.39 kg m⁻³), con respecto a la tecnología utilizada por el productor (riego por microaspersión, Testigo), sin afectar la calidad del fruto, cosechando manzanas de mayor peso y firmeza.

Palabras clave: sistemas de riego, etapas fenológicas, productividad del agua, evaporación.

¹ INIFAP-CESICH. Hidalgo No. 1213, Zona Centro. 31500 Cd. Cuauhtémoc, Chih., México.

[‡] Autor responsable (parra.rafael@inifap.gob.mx)

² INIFAP-CEDEL. Km 2 Carretera Delicias Rosales. 33000 Cd. Delicias, Chih., México.

SUMMARY

All of northern Mexico is dry. In general, water is increasingly scarcer and of lower quality. Apples in the state of Chihuahua are grown (approximately 30 000 ha) under irrigation, mostly with underground water extracted with pumping systems. Of the existing aquifers, 90% are over-exploited. The objective of the present work was to determine the effect of controlled deficit irrigation and subsurface irrigation on water productivity, vegetative growth, and fruit production and quality. The study was carried out during the 2003 growing cycle in a 20 year old apple orchard of the cultivar Top Red Delicious. Four treatments and eight replications were established; variables were analyzed using a completely randomized design, considering one tree as the experimental unit. The results obtained indicated that by irrigating once to field capacity during budding, followed by 49 days without water, and then resuming normal irrigation until harvest, there was a water savings of 60%. Furthermore, fruit yield increased up to 22%, and water use productivity increased up to three times (7.68 vs. 2.39 kg m⁻³) relative to the technology utilized by the grower (micro sprinkler irrigation, control), without affecting fruit quality. The harvested apples were, rather, heavier and firmer.

Index words: irrigation systems, phenological stages, water productivity, evaporation.

INTRODUCCIÓN

El agua para la agricultura, incluyendo los frutales, en muchas zonas del mundo es cada vez más escasa y cara. La producción de manzana en Chihuahua se lleva a cabo en los municipios de Guerrero (7036 ha), Cuauhtémoc (6527 ha), Namiquipa (3733 ha), Bachíniva (2961 ha), Casas Grandes (1245 ha), Cusihiuriachic (1140 ha) y en otros municipios del estado (3770 ha), condición que ubica a esta región como la principal productora de manzana en México, (350 242 Mg año⁻¹ con valor

de \$ 1 188 858 000), según el INEGI (2005). En el 95% de los casos la producción se hace bajo condiciones de riego, casi siempre extrayendo el agua por bombeo, donde la eficiencia global de riego es igual o menor al 65%, llegando a utilizar hasta 1.6 m³ de agua por kg de manzana producida (Parra *et al.*, 2005).

La sequía es un fenómeno meteorológico que se ha acentuado en los últimos 15 años en la zona manzanera de Cuauhtémoc, Chihuahua, con tan sólo 261.9, 238.5, 300, 350 y 371 mm de precipitación (PP) en los ciclos 2001, 2002, 2003, 2004 y 2005 respectivamente. El factor climatológico más importante y que es responsable de las mayores pérdidas de agua, es la evaporación (EV), la cual en el 2005 fue de 1790.2 mm para Cuauhtémoc, Chihuahua, lo que representa un cociente PP/EV = 0.21, que significa sequía extrema.

Las condiciones que prevalecen en la región indican que algunos acuíferos están sobreexplotados, con un déficit de recarga anual variable en Casas Grandes (-20.47 Mm³ año⁻¹), Flores Magón-Villa Ahumada (-84.74 Mm³ año⁻¹), Baja Babícora (-19.05 Mm³ año⁻¹), Cuauhtémoc (-69.72 Mm³ año⁻¹) y Laguna de los Mexicanos (-11.24 Mm³ año⁻¹), según estadísticas del INEGI (1999). Los datos anteriores muestra claramente el uso irracional del agua en estas áreas de riego, no sólo en el cultivo de manzano, sino también en la producción de maíz, frijol y avena, situación que plantea la urgente necesidad de identificar y adoptar estrategias efectivas para el manejo del agua de riego.

Algunas técnicas para disminuir las pérdidas de agua por evaporación en la producción agrícola, son el uso de acolchado con plástico (Parra *et al.*, 2002a), cubiertas orgánicas utilizando pajas de diversas fuentes (Ibáñez *et al.*, 2000; Parra *et al.*, 2002b) y el uso de riego por goteo subsuperficial junto al tronco del árbol, entre otras. Sin embargo, estas estrategias deben ser evaluadas en campo para conocer el efecto que se tiene en productividad del agua (kg de fruta producida por m³ de agua utilizada) y del árbol, dado que hay variación de un huerto a otro por efecto de tipo y profundidad de suelo y portainjerto utilizado (Atkinson *et al.*, 1999).

El uso del déficit de riego controlado (DRC), déficit hídrico regulado o riego deficitario planificado, fue propuesto por primera vez por Chalmers *et al.* (1981) trabajando con durazno en Australia. Esta estrategia consiste en disminuir o eliminar la cantidad de agua aplicada al árbol, en una etapa fenológica específica del mismo, sin afectar significativamente la producción y la calidad del fruto. Naor *et al.* (1999) indican que cuando

el DRC es bien aplicado no hay reducción en el rendimiento y la calidad del fruto se conserva o se mejora. Parra *et al.* (2005) indican que en manzano, el brote crece rápidamente al inicio de la estación y cuando éste disminuye su tasa de crecimiento, el fruto que ha crecido lentamente durante el mismo periodo, aumenta su tasa de crecimiento rápidamente; de esta manera, un DRC al inicio de la temporada reduce el crecimiento del brote sin afectar fuertemente el crecimiento del fruto. Sin embargo, algunos investigadores (Kilili *et al.*, 1996; Mpelasoka *et al.*, 2001 y Leib *et al.*, 2006) indican que el DRC disminuye el tamaño del fruto y el rendimiento, pero mejora su calidad al incrementar la concentración de sólidos solubles, la materia seca y la firmeza.

Lo antes expuesto hace indispensable mantener un estricto control sobre las pérdidas de agua por evaporación en el huerto, lo que representa una línea de investigación poco explorada en México. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue conocer el efecto del DRC y el riego subterráneo en la productividad del agua y su efecto en el crecimiento vegetativo, producción y calidad de fruta en manzano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en Cuauhtémoc, Chihuahua, durante el año 2003, en un huerto de manzano Top Red Delicious/portainjerto franco, de 20 años de establecido, a 5 x 4 m y conducidos en líder central, con un productor cooperante cuyo predio se localiza a 28° 25' N y 106° 50' O, a una altitud de 2100 m. La profundidad del suelo es de 1.2 m, con textura migajón arcillo arenoso.

Se aplicaron cuatro tratamientos: 1) regar a capacidad de campo (CC) en brotación + suspensión del riego desde plena floración (PF) hasta 49 días después de la misma (DDPF), posteriormente se regó en forma normal hasta cosecha; 2) riego desde PF hasta los 49 días, posteriormente se suspendió el riego hasta cosecha; 3) riego normal durante todo el ciclo y 4) riego con el criterio del productor. El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro tratamientos y ocho repeticiones, considerando un árbol como unidad experimental.

En los tres primeros tratamientos se usó cintilla enterrada a 40 ± 5 cm de profundidad, instalada a 90 cm del tronco, con goteros cada 30 cm, y gasto de 1.6 L h⁻¹ y con una línea de riego a cada lado del tronco. El cuarto tratamiento se regó con microaspersión con el criterio del productor, (riegos de 12 horas cada cinco días,

con un emisor por árbol de flujo de 50 L h⁻¹). La necesidad del riego se basó en la ecuación de balance hídrico (Tijerina, 1999), utilizando el método gravimétrico, para consignar el cambio de almacenamiento de agua en el suelo. La evapotranspiración potencial se calculó utilizando el método de Doorenbos y Pruitt (1977) y los Kc del manzano de acuerdo con lo reportado por Amado (1992). En cada tratamiento se registró el volumen de agua aplicado (m³) durante el ciclo de cultivo, utilizando un medidor volumétrico.

Las variables registradas fueron: a) crecimiento del brote (se etiquetaron cuatro ramas por árbol, en los cuatro puntos cardinales y semanalmente se midió la longitud), b) diámetro del fruto (se midió en cinco frutos de la parte media de la copa). La cosecha del árbol se realizó manualmente el 21 de agosto, cuando el fruto presentó una coloración característica de la variedad (rojo oscuro estriado). Al momento de la cosecha se registró c) el número de frutos y d) el peso de las manzanas. Posteriormente se obtuvo una muestra de 10 frutos para determinar: e) diámetro polar, f) diámetro ecuatorial, g) firmeza (kg cm⁻²) con un penetrómetro manual (Mod. Willson FT 327) y h) sólidos solubles totales (%) con un refractómetro manual (Atago, de 0 a 32%). El análisis de las variables registradas se hizo con base en un modelo lineal completamente aleatorio mediante el procedimiento GLM (SAS Institute, 2001). La prueba de medias utilizada fue Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento y Componentes de Productividad del Agua

Los resultados indican que en los manzanos del Tratamiento 1 se incrementó la producción en un 26%, sin encontrar diferencias significativas entre tratamientos, debido a un alto coeficiente de variación (28.5%), aspecto normal en trabajos de campo en árboles frutales. La eficiencia en el uso del agua se incrementó en 3.2 veces con respecto a los árboles regados por microaspersión (Cuadro 1). Más aún, se calculó un ahorro de agua de 7000 m³ ha⁻¹, equivalentes a una lámina de riego de 70 cm, comparado con lo consumido en el testigo del productor y similar a lo reportado por Parra *et al.* (2005) y Neilsen *et al.* (2003).

Esta información indica que al minimizar las pérdidas de agua por evaporación usando el riego por goteo subterráneo con cintilla (Girona *et al.*, 2005) y aplicar

Cuadro 1. Producción de manzana y productividad del agua.

Tratamientos [†]	Volumen de agua utilizada	Producción de fruta	Productividad del agua
	m ³ ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	kg m ⁻³
1	5, 000	38	7.6
2	3, 900	30	7.8
3	7, 500	34	4.6
4	12, 370	30	2.4

[†] 1 = suspensión del riego desde plena floración hasta 49 días después de la misma, después riego normal hasta cosecha; 2 = riego desde plena floración hasta 49 días después de plena floración, después suspensión del riego hasta cosecha; 3 = riego por goteo toda la temporada; 4 = riego con el criterio del productor (Testigo).

el riego donde hay una mayor concentración de raíces absorbentes (Goldhamer y Fereres, 2004), se hace un uso más eficiente del agua y en consecuencia se manifiesta un mayor potencial de rendimiento por árbol (Goldhamer *et al.*, 2006). Sin embargo, es importante indicar que durante la instalación del sistema de riego subterráneo, inevitablemente se realizó una significativa poda de raíz, la cual pudo promover la formación de nuevo sistema radical, mismo que contribuyó a mejorar la respuesta de los árboles bajo este tratamiento (Nanos *et al.*, 2002 y Naor *et al.*, 1999).

Calidad del Fruto

Cuando el riego se aplicó desde PF hasta los 49 días y después se suspendió por el resto del ciclo, se redujo significativamente el peso medio del fruto en comparación con el resto de los tratamientos de riego (Cuadro 2). Esta respuesta se debió no sólo a la falta de riego, sino también al retraso de la época de lluvia, la cual generalmente inicia en la tercera semana de junio y en este caso se presentó hasta la tercera semana de julio. No obstante que este tratamiento produjo los frutos más pequeños, la firmeza y la concentración de sólidos solubles totales de los frutos se mejoró. Esta información coincide con la de Hamlin *et al.* (1999), al indicar que al aplicar un DRC en forma eficiente, no se afecta el rendimiento, pero si la calidad de la fruta.

La dinámica en el crecimiento del fruto indica una reducción significativa ($P < 0.01$) en el Tratamiento 1 con respecto al Tratamiento 4 (Figura 1), del día 29 a los 49 DDPF, ya que a medida que transcurre el tiempo sin riego (49 DDPF), la humedad en el suelo se abate paulatinamente hasta cerca del punto de marchitamiento permanente. Sin embargo, una vez que se inicia el riego,

Cuadro 2. Características del fruto de manzano Top Red Delicious a la cosecha.

Tratamientos [†]	Peso del fruto	Diámetro ecuatorial	Diámetro polar	Firmeza	CSST [‡]
	g	cm	cm	kg cm ⁻²	%
1	150.9 a	7.40 ab	5.93	6.51 c	10.45 b
2	117.9 b	7.04 b	5.78	7.94 a	12.90 a
3	158.9 a	7.37 ab	6.18	7.32 b	10.75 b
4	151.9 a	7.61 a	5.99	6.25 c	10.63 b

Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo con Tukey ($\alpha \leq 0.05$). [†] 1 = suspensión del riego desde plena floración hasta 49 días después de la misma, después riego normal hasta cosecha; 2 = riego desde plena floración hasta 49 días después de plena floración, después suspensión del riego hasta cosecha; 3 = riego por goteo toda la temporada; 4 = riego con el criterio del productor (Testigo). [‡] CSST = concentración de sólidos solubles totales.

después de los 49 DDPF, el fruto reanuda su crecimiento a una tasa mayor y llega a la cosecha con diámetros estadísticamente iguales al Tratamiento 4 (Cuadro 2) y en los rangos para su comercialización en fresco, lo que muestra que ésta estrategia de riego permite hacer un uso eficiente del agua, como lo señala Forge *et al.* (2003). Esta estrategia de riego también se apoya en la fisiología del crecimiento del fruto, ya que durante las primeras seis semanas después de la floración, el fruto crece por división celular (etapa I), básicamente a expensas

de las reservas del árbol; posteriormente los frutos crecen por división y alargamiento celular (etapa II), y es donde el fruto requiere de mayor cantidad de agua y nutrimentos; finalmente el fruto crece por alargamiento celular (etapa III), y es donde requiere de mayores cantidades de agua y nutrimentos para su crecimiento y acabado final (Parra *et al.*, 2005). Por lo tanto, con base en lo anterior, es posible eliminar por completo el agua de plena floración hasta que la división celular ocurre, e iniciar con el riego una vez que se inicia el alargamiento

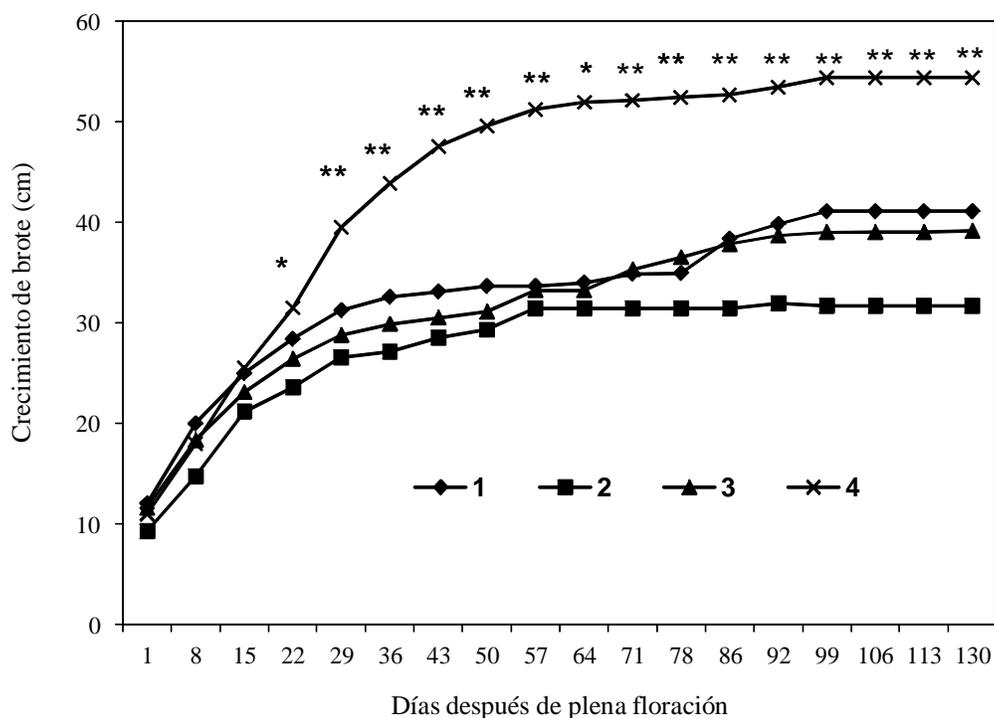


Figura 1. Dinámica de diámetro del fruto de manzano Top Red Delicious sometido a tratamientos de déficit de riego controlado y riego subterráneo. 1 = suspensión del riego desde plena floración hasta 49 días después de la misma, después riego normal hasta cosecha; 2 = riego desde plena floración hasta 49 días después de plena floración, después suspensión del riego hasta cosecha; 3 = riego por goteo toda la temporada; 4 = riego con el criterio del productor (Testigo). * = diferencias significativas ($P \leq 0.01$); ** = diferencias significativas ($P \leq 0.001$).

celular, sin afectar la calidad de fruto y el rendimiento; sin embargo, se afecta el desarrollo del brote.

Longitud de Brote

El crecimiento del brote es altamente sensible a un déficit hídrico y se observa una reducción donde se aplica el DRC (Behboudian y Mills, 1997). Lo anterior se corroboró en este experimento, donde el riego con el criterio del productor indujo un crecimiento promedio acumulado de brotes significativamente mayor en comparación con los tratamientos de riego subterráneo y con el DRC (Figura 2). El incremento vegetativo inducido con el riego del productor obliga a realizar podas de verano para permitir la penetración de luz a través del dosel y así mejorar la coloración del fruto. Además, esta actividad incrementa los costos de producción, dado que se obtuvieron 1269, 938, 875 y 1570 kg ha⁻¹ de ramas producto de la poda respectivamente, en los diferentes tratamientos aplicados. Estos costos de poda pueden ser obviados con la aplicación del DRC y el riego subterráneo, similar a lo encontrado por Neilsen *et al.* (1999), Traore y Maranville (1999) y Romero *et al.* (2004a).

Humedad en el Suelo

Los porcentajes de humedad en el suelo para los Tratamientos 1 y 2, donde se compara el DRC al inicio del desarrollo del fruto y el brote, de plena floración a los 49 DDPF y el Tratamiento 4, se aprecia que al inicio de los diferentes tratamientos, la humedad en el suelo estaba por encima de la capacidad de campo (CC = 21.5%), pero una vez que el tiempo transcurre, la humedad se abate gradualmente hasta llegar en el tratamiento de DRC a niveles inferiores a punto de marchitez permanente (PMP = 12.1%), mientras que la humedad del suelo en árboles donde regó el productor permanece alrededor de la capacidad de campo (Figura 3). En este mismo periodo, el crecimiento del fruto es lento (etapa I) y está soportado básicamente por las reservas del árbol y por la humedad disponible en el suelo (Kilili *et al.*, 1996, Romero *et al.*, 2004b), de tal manera que el fruto crece a una tasa baja. El crecimiento vegetativo por su parte es el más afectado por el estrés aplicado, manifestando una fuerte reducción en su tasa de crecimiento. Una vez transcurridos los 49 días en el tratamiento de DRC, se inicia con la aplicación

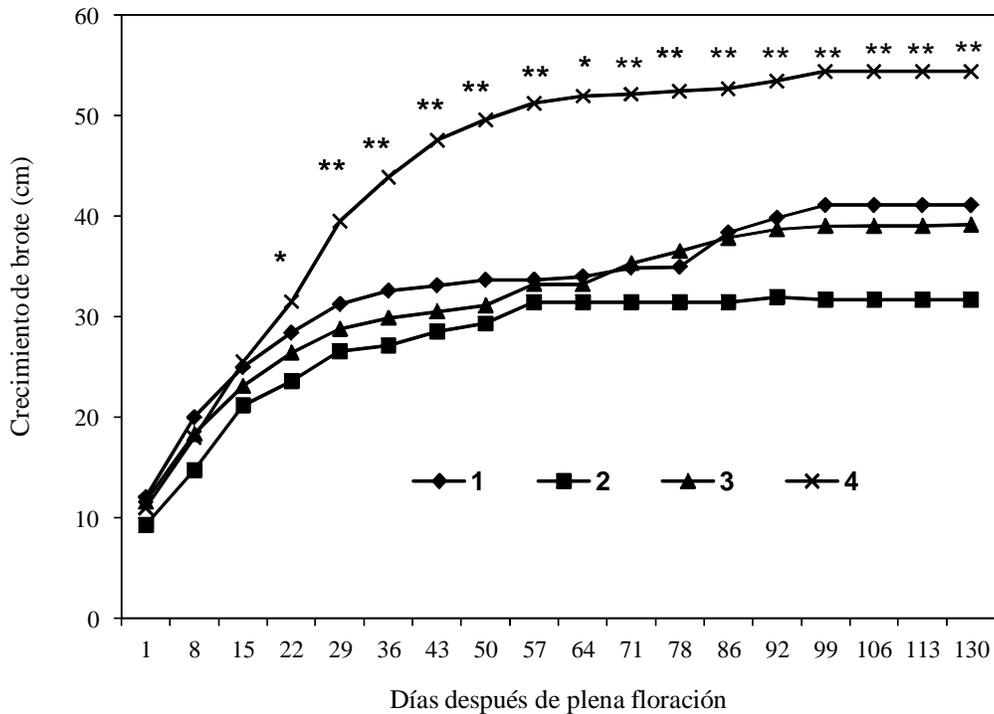


Figura 2. Crecimiento acumulado del brote de manzano Top Red Delicious. 1 = suspensión del riego desde plena floración hasta 49 días después de la misma, posteriormente riego normal hasta cosecha; 2 = riego desde plena floración hasta 49 días después de plena floración, después suspensión del riego hasta cosecha; 3 = riego por goteo toda la temporada; 4 = riego con el criterio del productor (Testigo). * = diferencias significativas (0.01); ** = diferencias significativas (0.001).

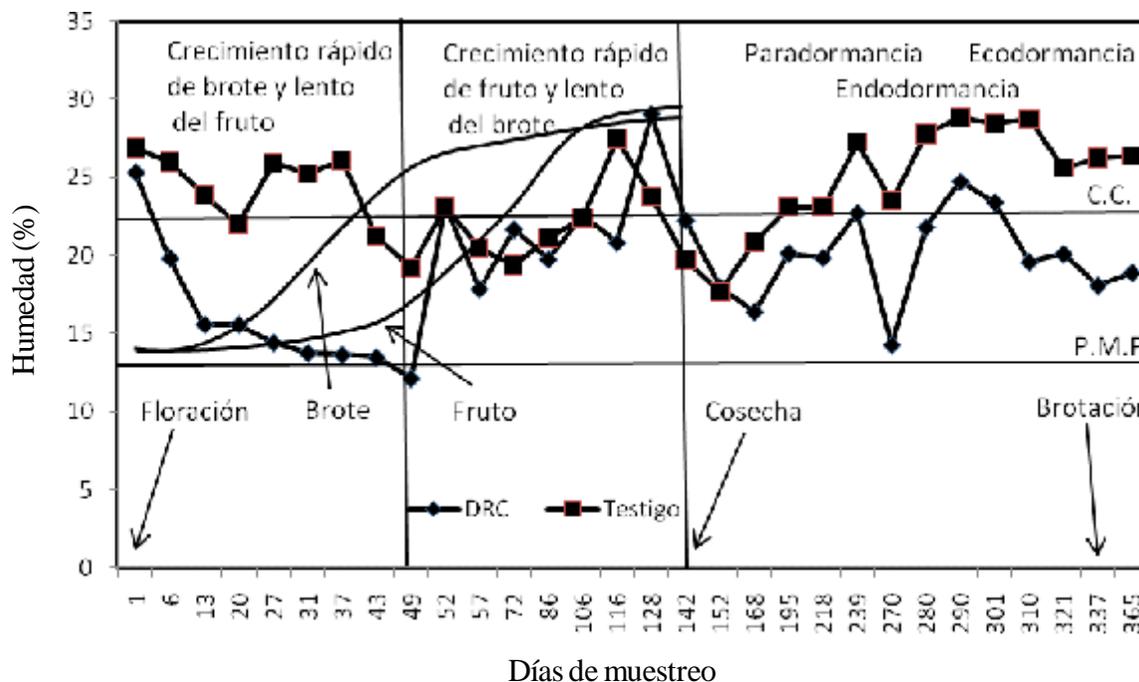


Figura 3. Contenido de humedad del suelo a través del ciclo vegetativo del manzano. DRC = déficit de riego controlado, C.C. = capacidad de campo, P.M.P. = punto de marchitez permanente.

del riego y se observa un aumento en la humedad en el suelo, sobrepasando la capacidad de campo. Con ello la velocidad de crecimiento del fruto se incrementa y se obtiene al final de la temporada un tamaño comercial, similar al del productor, mientras que los brotes no presentan un nuevo crecimiento; esta situación también ha sido observada por Romero *et al.* (2006). La humedad en el suelo durante el crecimiento rápido del fruto y lento del brote es similar a la del tratamiento del productor, pero una vez que se realiza la cosecha, donde los requerimientos de agua disminuyen, el productor continúa regando durante el invierno, mientras que en el tratamiento de DRC se permite un abatimiento hasta del 75% de la humedad disponible en el suelo sin afectar la fenología del árbol, información similar a la reportada por Neilsen *et al.* (2000). Con la aplicación de la estrategia de DRC es posible ahorrar agua, dado que el árbol, después de cosecha se ha defoliado y su principal motor para la extracción de agua del suelo hacia la parte aérea, las hojas, ya no están presentes y las raíces sólo requieren de cantidades mínimas para soportar el invierno (Amado, 1992). Además, durante el invierno se presentan algunas lluvias y nevadas lo que aporta humedad suficiente para mantener hidratado el sistema radical y por consecuencia no aplicar agua de riego, como lo realiza el productor.

CONCLUSIONES

El riego por goteo enterrado (goteros incrustados en la línea de riego), más la estrategia de déficit de riego controlado (DRC) en manzano y utilizando los criterios de monitoreo de la humedad en el suelo, o el uso del tanque evaporímetro tipo A, ajustado por un coeficiente de cultivo (K_c) para la programación del riego, permite un ahorro de agua de 60%, un incremento en la producción de fruta hasta de 27% y una eficiencia en el uso del agua hasta tres veces mayor (7.68 contra 2.39 kg m^{-3}), con respecto a la tecnología utilizada por el productor (riego por microaspersión, regando 12 horas cada cinco días), sin afectar la calidad externa del fruto; por el contrario, en algunos casos se obtienen manzanas de mayor peso y firmeza.

LITERATURA CITADA

- Amado A., J. P. 1992. Respuesta del manzano (*Malus pumilla* Mill.) a diferentes niveles de humedad del suelo. *Terra* 10: 174-183.
- Atkinson, C. J., M. Policarpo, A. D. Webster, and A. M. Kuden. 1999. Drought tolerance of apple rootstocks: production and partitioning of dry matter. *Plant Soil* 206: 223-235.
- Behboudian, M. H. and T. M. Mills. 1997. Deficit irrigation in deciduous orchards. *Hort. Rev.* 21: 105-131.

- Chalmers, D. J., P. D. Mitchell, and L. Van Heek. 1981. Control of peach three growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 106: 307-312.
- Doorenbos, J. and W. O. Pruitt. 1977. Crop water requirements. Irrigation and drainage. Paper No. 24. FAO. Rome, Italy.
- Forge, T. A., E. Hogue, G. Neilsen, and D. Neilsen. 2003. Effects of organic mulches on soil microfauna in the root zone of apple: Implications for nutrient fluxes and functional diversity of the soil food web. *Appl. Soil Ecol.* 22: 39-54.
- Girona, J., M. Mata, and J. Marsal. 2005. Regulated deficit irrigation during kernel-filling period and optimal irrigation rates in almond. *Agric. Water Manage.* 75: 152-167.
- Goldhamer, D. A. and E. Fereres. 2004. Irrigation scheduling of almond trees with trunk diameter sensors. *Irrigation Sci.* 23: 11-19.
- Goldhamer, D. A., M. Viveros, and M. Salinas. 2006. Regulated deficit irrigation in almonds: Effects of variations in applied water and stress timing on yield and yield components. *Irrigation Sci.* 24: 101-114.
- Hamlin, R. L., H. A. Mills, and W. M. Randle. 1999. Growth and nutrition of pansy as influenced by N-form ratio and temperature. *J. Plant Nutr.* 22: 1637-1650.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1999. Estudio hidrológico del estado de Chihuahua. Aguascalientes, Ags. México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2005. Anuario estadístico, Chihuahua. Agricultura. Aguascalientes, Ags. México.
- Ibáñez M., A., A. E. Becerril R., A. Castillo M., R. A. Parra Q. y C. López C. 2000. Efecto de cubiertas, riego y fertilización foliar en el desarrollo radical del manzano. *Terra* 18: 225-237.
- Kilili, A. W., M. H. Behnoudian, and T. M. Mills. 1996. Composition and quality of Braeburn apples under reduced irrigation. *Sci. Hort.* 67: 1-11.
- Leib, B. G., H. W. Caspari, C. A Redulla, P. K. Andrews, and J. J. Jabro. 2006. Partial rootzone drying and deficit irrigation of Fuji apple in semi-arid climate. *Irrigation Sci.* 24: 85-99.
- Mpelasoka, B. S., M. H. Behnoudian, and S. R. Green. 2001. Water use, yield and fruit quality of lysimeter-grown apple trees: response to deficit irrigation and crop load. *Irrigation Sci.* 20: 107-113.
- Nanos, G. D., I. Kazantzis, P. Kefalas, C. Petrakis, and G. G. Stravroulakis. 2002. Irrigation and harvest time affect almond kernel quality and composition. *Scientia Hort.* 96: 246-256.
- Naor, A., I. Klein, H. Hupert, Y. Greenblat, M. Peres, and A. Kaufman. 1999. Water stress and crop load interactions in relation to nectarine yield, fruit size distribution and water potentials. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 124: 189-193.
- Neilsen, G. H., E. J. Hogue, T. Forge, and D. Neilsen. 2003. Mulches and biosolids affect vigor, yield and leaf nutrition of fertigated high density apple. *HortScience* 38: 41-45.
- Neilsen, G. H., P. Parchomchuk, D. Neilsen, and B. J. Zearth. 2000. Drip-fertigation of apple trees effects root distribution and development of K deficiency. *Can. J. Soil Sci.* 80: 353-361.
- Neilsen, G. H., D. Neilsen, and F. Peryea. 1999. Response of soil and irrigated fruit trees to fertigation of broadcast application of nitrogen, phosphorus and potassium. *Hort Technol.* 9: 393-401.
- Parra Q., R. A., A. E. Becerril R. y C. López C. 2002a. Transpiración, resistencia estomática y potenciales hídricos en manzano Golden Delicious injertados sobre portainjertos clonales. *Terra* 20: 113-121.
- Parra Q., R. A., A. E. Becerril R. y C. López C., A. Castillo M. 2002b. Crecimiento del manzano cv. Golden Delicious sobre cuatro portainjertos en diferentes condiciones de humedad y nutrición. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 193-200.
- Parra Q., R. A., J. A. Orozco A., M. González P., J. P. Amado A. y P. Ortiz F. 2005. Rendimiento y tamaño del fruto del manzano sometido a estrés hídrico planificado en Chihuahua, México. *Agric. Téc. Méx.* 31: 11-20.
- Romero, P., P. Botia, and F. García. 2004a. Effects of regulated deficits irrigation under subsurface drip irrigation conditions on water relations of mature almond trees. *Plant Soil* 260: 155-168.
- Romero, P., P. Botia, and F. García. 2004b. Effects of regulated deficits irrigation under subsurface drip irrigation conditions on vegetative development and yield of mature almond trees. *Plant Soil* 260: 169-181.
- Romero, P., J. García, and P. Botia. 2006. Cost-benefit analysis of regulated deficits-irrigated almond orchard under subsurface drip irrigation conditions in Southeastern Spain. *Irrig. Sci.* 24: 175-184.
- SAS Institute. 2001. Versión 8.2. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Tijerina C., L. 1999. Requerimientos hídricos de cultivos bajo sistemas de fertirrigación. *Terra* 17: 237-245.
- Traore, A. and J. Maranville. 1999. Effect of nitrate/ammonium ratio on biomass production, nitrogen accumulation, and use efficiency in sorghums of different origin. *J. Plant Nutr.* 22: 813-825.