

RIEGO PARCIAL DE LA RAÍZ EN MANZANO 'GOLDEN DELICIOUS' EN UN AMBIENTE SEMI-ÁRIDO

PARTIAL ROOTZONE IRRIGATION OF 'GOLDEN DELICIOUS' APPLE TREES IN A SEMI-ARID ENVIRONMENT

Jorge A. Zegbe-Domínguez^{1*}, Alfonso Serna-
Pérez¹ y Ángel G. Bravo-Lozano¹

¹ Campo Experimental Zacatecas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apdo. Postal 18. 98500, Calera de V. R., Zacatecas, México. Tel. 01(478) 985-0198 Ext. 309; Fax: 01(478) 985-0363.

* Autor para correspondencia (jzegbe@inifapzac.sagarpa.gob.mx)

RESUMEN

El agua para riego es un recurso limitado y costoso en la producción de manzano (*Malus pumila* Mill.) en las regiones semi-áridas del mundo, como en la región Norte de México donde se cultivan 44 mil hectáreas. Se ha demostrado que el riego parcial de la raíz (RPR) es una técnica que ahorra agua en manzano cultivado en regiones húmedas, pero en climas semi-áridos aún no se evalúa. El objetivo de este estudio fue determinar el impacto del RPR sobre el rendimiento y calidad de fruto del manzano 'Golden Delicious' cultivado en un clima semi-árido donde la demanda evapotranspiratoria del cultivo es mayor que en un ambiente húmedo. Los tratamientos fueron: riego completo (RC, testigo) y RPR; en éste se aplicó 50 % del RC, pues el riego se alternó del lado húmedo al seco del sistema radical cada 8 d o cuando el contenido del agua en el suelo alcanzó un umbral de abati-miento. En general, el rendimiento y componentes del rendimiento fueron estadísticamente iguales en ambos tratamientos, pero la eficiencia en el uso del agua fue significativamente mejorada en 70 % con el RPR en relación al RC. El RPR ahorró 44 % del agua. El peso medio, la firmeza y la concentración de sólidos solubles totales del fruto fueron estadísticamente iguales entre tratamientos. La concentración de la materia seca del fruto fue significativamente mayor en árboles con RPR que en aquéllos con RC. El RPR necesita ser validado en otros cultivares de manzano y ambientes agro-ecológicos antes de que esta técnica sea comercialmente difundida.

Palabras clave: *Malus pumila* Mill., déficit hídrico, rendimiento, calidad del fruto.

SUMMARY

Water for irrigation is a limited and expensive resource for apple (*Malus pumila* Mill.) production in the semi-arid zones of the world, i.e., the Northern region of México where 44 thousand hectares are under apple cultivation. Partial rootzone drying (RPR) is a water-saving irrigation technique which has been successfully tested in apple

trees cultivated in humid areas, but it has not been evaluated yet in semi-arid areas. The objective of this study was to determine the impact of RPR on yield and fruit quality of 'Golden Delicious' apple trees grown in a semi-arid climate where crop evapotranspiration is higher than in a humid area. Treatments were: full irrigation (RC, control) and RPR; in the latter treatment 50 % of water in RC was given in each irrigation turn. In RPR, irrigation was alternatively given from the wetted side to the drying side of the root system every 8 d or when soil water content reached a threshold of soil water depletion. In general, yield and yield components were statistically similar between treatments, but the water use efficiency was significantly improved in RPR trees by 70 % in relation to RC trees. The RPR saved water by 44 %. Mean weight, flesh firmness, and total soluble solids concentration of the fruit were statistically the same between treatments. Fruit dry matter concentration was higher in RPR trees than in RC trees. The RPR deserves to be validated in other apple cultivars and in other agro-ecological environments before this technique could be commercially spread out.

Index words: *Malus pumila* Mill., water deficit, yield, fruit quality.

INTRODUCCIÓN

El manzano (*Malus pumila* Mill.) es un frutal de clima templado que se cultiva en una amplia gama de climas y suelos (Westood, 1993). Este cultivo se explota comercialmente en la región semi-árida del norte de México donde el riego es indispensable para obtener altos rendimientos y calidad del fruto. Sin embargo, los requerimientos hídricos en esas áreas son altos debido a la demanda evaporativa durante la estación de crecimiento y a lo escaso y errático de la lluvia. En general, se requieren entre 12 mil y 21 mil m³ ha⁻¹ para satisfacer las necesidades hídricas de un huerto adulto de manzano (Ortiz y Parra, 2006). Como en otras partes del mundo, el recurso hídrico es limitado y costoso; en consecuencia, es necesario idear nuevas técnicas de riego que ahorren agua y conserven el recurso hídrico para mantener la sustentabilidad productiva del manzano (Zegbe *et al.*, 2005).

El déficit hídrico regulado (DHR) es una estrategia ampliamente utilizada para ahorrar agua en la producción de este frutal y de otros cultivos (Behboudian y Mills, 1997). Sin embargo, el DHR disminuye el tamaño de fruto, y por ende, el rendimiento, pero mejora la calidad del fruto en términos de incremento en la concentración de sólidos solubles totales, concentración de materia seca, firmeza y menor pérdida de peso del fruto en almacenamiento (Kilili *et al.*, 1996a; b; Mpelasoka *et al.*, 2000; 2001a; b; Leib *et al.*, 2006).

Dry y Loveys (1998) propusieron otra estrategia para ahorrar hasta 50 % de agua, que denominaron Partial Rootzone Drying (PRD, en inglés; riego parcial de la raíz, RPR, en castellano), y que podría ser la continuación de los trabajos de Tan *et al.* (1981) y Tan y Buttery (1982), y que requiere que aproximadamente la mitad del sistema

radical (SR) sea sometida a un secado paulatino del suelo mientras la otra mitad es irrigada (Dry y Loveys, 1998). Durante la estación de crecimiento, el lado húmedo y el lado en proceso de secado del SR se alternan en ciclos de 8 ó 14 d (Stoll *et al.*, 2000) o hasta cierto nivel de abatimiento del agua del suelo (Zegbe *et al.*, 2005; Leib *et al.*, 2006), lo cual depende de la demanda evapotranspiratoria en cada región y del tipo de suelo.

La respuesta fisiológica de la planta al RPR fue descrita por Davies *et al.* (2002), quienes mencionan que las raíces que se dejan de regar sintetizan principalmente ácido abscísico (ABA), el cual es transportado a las hojas. El ABA induce un cierre estomático parcial, que reduce el intercambio gaseoso, pero mantiene un valor de potencial hídrico similar a las plantas adecuadamente regadas, lo que incrementa la eficiencia del uso del agua. Esta teoría proviene de experimentos conducidos en ambientes controlados donde el SR se ha dividido en dos contenedores (Gowing *et al.*, 1990; Croker *et al.*, 1998; Dry y Loveys, 1998; Stoll *et al.*, 2000). Sin embargo, la información sobre el RPR en plantaciones comerciales de manzano es limitada (van Hooijdonk *et al.*, 2004; Zegbe *et al.*, 2005; Leib *et al.*, 2006). En manzano 'Pacific RoseTM' cultivado en un ambiente húmedo de Nueva Zelanda, el RPR mantuvo la apertura estomática, el intercambio gaseoso y el potencial hídrico de la planta similar a árboles testigo, sin observarse efectos adversos en el rendimiento ni en la calidad del fruto (van Hooijdonk *et al.*, 2004; Zegbe *et al.*, 2005). Resultados similares se obtuvieron en el manzano 'Fuji' cultivado en un ambiente semi-árido de EE. UU. (Leib *et al.*, 2006). Incluso, se ha indicado que el RPR puede incrementar el rendimiento en peral (*Pyrus communis* L.) (Kang *et al.*, 2002) o en manzano (Caspari *et al.*, 2004).

El objetivo de este estudio fue determinar el impacto del RPR sobre el rendimiento y calidad de fruto del manzano cv 'Golden Delicious' cultivado en un clima semi-árido donde la demanda hídrica es mayor durante las etapas de floración, división celular del fruto y formación de semillas. Se postuló que el RPR induce efectos adversos en el rendimiento y calidad del fruto debido a la alta evaporación potencial y a la nula presencia de lluvias durante las primeras tres etapas fenológicas del manzano, como se demostró en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) para proceso (Zegbe *et al.*, 2006).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se condujo durante la estación de crecimiento de 2005 en el Campo Experimental Zacatecas (22° 54' LN, 102° 39' LO), con altitud de 2,197 m, temperatura media anual de 14.6 °C, acumulación promedio

de frío de noviembre a febrero de 600 unidades frío (UF) y precipitación media anual de 416 mm, de la cual 75 % ocurre durante el verano, particularmente de junio a septiembre. La evaporación potencial (EP) promedio anual es de 1,609 mm; las mayores diferencias entre la lluvia y la evaporación se registran de diciembre a mayo. El suelo es franco arenoso con pH de 7.5 y contenido de materia orgánica de 0.57 %. El huerto consiste de árboles de manzano 'Golden Delicious' de 30 años de edad injertados en portainjertos M7, espaciados a 5 x 3.5 m y conducidos a líder central. Los cvs. 'Jonathan' y 'Sartking' están intercalados como polinizadores. Diez parcelas, con cuatro árboles cada una, se seleccionaron y se asignaron al azar a dos tratamientos de riego (cinco parcelas por tratamiento). La parcela útil constó de los dos árboles centrales de cada parcela experimental.

Los tratamientos fueron: riego completo (RC, testigo) y RPR, en el que se aplicó 50 % del agua suministrada en RC. Para aplicar el RPR la tubería principal se dividió en dos líneas paralelas, una en cada lado de la hilera de árboles, separadas a 50 cm del tronco. Se instalaron diez goteos (cinco por cada lado de la hilera de árboles) que emitieron 40 L h⁻¹ por árbol. El riego, en ambos lados del RPR, se controló manualmente con válvulas de paso, pero el riego general del huerto fue automático. Las láminas de riego se estimaron a partir de la capacidad de campo (CC), valores actuales de la humedad del suelo, profundidad de control (40 cm) y se corrigieron por la eficiencia de aplicación del sistema de irrigación (90 %). Los árboles con RC recibieron el riego en ambos lados del árbol; aquéllos con RPR recibieron el riego en un solo lado del árbol. En RPR el agua se aplicó alternadamente de un lado al otro lado de los árboles semanalmente o cuando el contenido del agua en el suelo, en promedio, se ubicó cercano al punto de marchitez permanente (PMP). La CC (0.26 cm³ cm⁻³) y PMP (0.15 cm³ cm⁻³) se determinaron en el laboratorio a partir de muestras alteradas del suelo del sitio de estudio. Con la información del contenido de la humedad del suelo, lámina de riego aplicada y precipitación efectiva, se estimó el consumo de agua del cultivo (ETc) por tratamiento mediante un balance hídrico (Brady y Weil, 2000). Para este cálculo se estimó la precipitación efectiva mediante la ecuación: $P_e = (PP - 10) \times 0.8$; donde P_e es la precipitación efectiva (mm) y PP es la precipitación pluvial (mm) (Quiñones, 1997). Los árboles fueron manejados con prácticas comerciales de producción que incluyeron: poda de fructificación (del 9 al 16 de febrero), aplicación de estimulantes de la floración (10 de marzo), raleo de fruta (23 de mayo), fertirrigación, control de plagas y enfermedades y control manual de la maleza entre árboles (Medina *et al.*, 2003). El manejo del suelo entre hileras

consistió en mantener pasto nativo en un área de 4 m que se segó periódicamente.

Se registró el rendimiento por árbol, eficiencia en el uso del agua de riego, crecimiento y calidad de fruto, y longitud final del brote. El crecimiento del fruto (diámetro ecuatorial) se registró semanalmente con un vernier digital (Digimatic, Modelo 50-321, Mitutoyo, Co., Japón) en cinco frutos de la parte media y externa de un árbol por parcela. El crecimiento longitudinal del brote se determinó en cuatro brotes marcados, uno en cada punto cardinal, con competencia por fruto, y el crecimiento final de cada uno de éstos se determinó al final del experimento. La calidad del fruto se determinó en seis frutos uniformes en tamaño y peso por parcela. La firmeza se evaluó en lados opuestos de la parte media de cada fruto con un penetrómetro equipado con un puntal de 11.1 mm de diámetro (Modelo FT 327, Wagner Instruments, Greenwich, CT, USA). De ambos lados del fruto se tomaron algunas gotas de jugo, se mezclaron y la concentración de sólidos solubles totales se midió con un refractómetro digital con compensación por temperatura automática (Modelo PR-32 α , Atago, Co. Ltd., Tokyo, Japón). La materia seca del fruto se determinó en una muestra compuesta aproximada de 25 g del mesocarpio fresco (excluyendo la epidermis) que se llevó a peso seco constante en estufa durante 15 d a 60 °C.

Los datos se analizaron con base en un modelo lineal completamente aleatorio mediante el procedimiento GLM (SAS Institute, 1999-2001). Antes del análisis, las variables expresadas en porcentaje y discretas se transformaron a arco-seno y a la raíz cuadrada de su valor, respectivamente; pero los valores medios se presentan con los datos retransformados. Para comparar las medias de tratamiento se utilizó la prueba de Scheffé ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evapotranspiración potencial (ETP) registrada en una estación automatizada se presenta como referencia para la evapotranspiración del cultivo (ETc) bajo el riego completo (RC) y riego parcial de la raíz (RPR) (Figura 1A). La magnitud de la ETP fue mayor que la ETc del RC desde el día 0 hasta 115 d después de la floración completa (ddfc). A partir de esa fecha, la ETc del RC fue mayor que la ETP, lo cual en parte se debió a la baja precipitación (174 mm) y a la alta demanda hídrica del cultivo, que normalmente coincide con la elongación y maduración del fruto (datos no presentados). Por otro lado, la ETc para árboles con RPR fue aproximadamente 35 y 44 % menor que la ETP y que la ETc del RC, respectivamente, lo que implicó 44 % de ahorro de agua por el uso del RPR en relación al RC. Los valores calculados durante el ciclo 2005 fueron: 720.0, 788.8 y 445.2 mm para la ETP, ETc del

RC y ETc del RPR, respectivamente. El contenido volumétrico del agua en el suelo (θ) en el RC se mantuvo cercano a la capacidad de campo (CC), mientras que en los árboles con RPR el θ osciló entre la CC y el PMP (Figura 1B); esto último dependió de si un lado fue regado o no. La variación en θ fue mayor entre los 0 y 94 ddc; después de esta fecha, la variación fue menor y así se mantuvo hasta la cosecha, y coincidió con la presencia y magnitud de la precipitación, lo cual pudo favorecer el rendimiento de los árboles bajo RPR y enmascarar un posible efecto deficitario inducido por este tratamiento. Esta información sugiere que la implementación del RPR tuvo relevancia en la primera mitad de la estación de crecimiento; después, la presencia de la lluvia coadyuvó con el RPR en el ahorro de agua de riego.

Algunos valores de θ estuvieron al nivel de PMP o más bajo, lo cual no afectó significativamente las variables de respuesta (Cuadro 1), lo que sugiere que las raíces extrajeron el agua de otros horizontes del suelo.

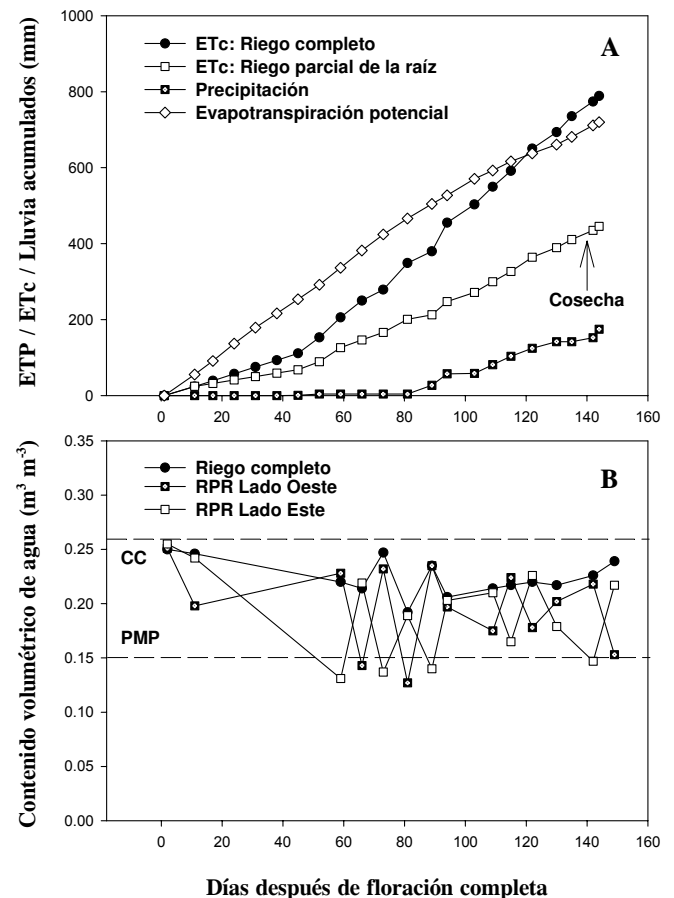


Figura 1. Evapotranspiración potencial y del cultivo (ETc) del huerto de manzano cv. 'Golden Delicious' en respuesta al riego completo (RC) y riego parcial de la raíz (RPR) (A). Cambios en el contenido volumétrico de agua en el suelo en respuesta al RC y RPR en ambos lados del sistema radical (B). CC= Capacidad de campo; PMP= Punto de marchitez permanente.

En teoría, el RPR mantiene los procesos fisiológicos de la planta de manera similar a las que han sido adecuadamente regadas (Gowing *et al.*, 1990; Croker *et al.*, 1998; Dry y Loveys, 1998; Stoll *et al.*, 2000; Davies *et al.*, 2002), por lo que el rendimiento no debería disminuir y la eficiencia hídrica mejoraría significativamente (Davies *et al.*, 2002). Esto fue el caso en este experimento, pues el número de frutos, rendimiento y la eficiencia productiva por árbol fueron estadísticamente ($P \leq 0.05$) iguales en ambos tratamientos. Similarmente, el crecimiento de los árboles, en términos de área transversal del tronco y longitud de brote, fue estadísticamente ($P \leq 0.05$) igual entre tratamientos (Cuadro 1). La eficiencia en el uso de agua mejoró significativamente en 70 % ($P \leq 0.0001$) en árboles bajo el RPR y se ahorró casi 44 % de agua en relación a aquellos bajo RC, lo que coincide con Leib *et al.* (2006) para un huerto del manzano 'Fuji' cultivado en un clima semi-árido en el Estado de Washington, EE. UU. Este ahorro de agua es inferior al 50 % obtenido por Dry y Loveys (1998), Stoll *et al.* (2000) y Davies *et al.* (2002), en condiciones controladas, donde la evapotranspiración es menor a la de climas secos. Independientemente del clima y suelo, los resultados obtenidos en este ensayo confirman parcialmente los resultados encontrados en manzano cultivado en ambientes húmedos de Nueva Zelanda (van Hooijdonk *et al.*, 2004; Zegbe *et al.*, 2005), donde el ahorro de agua de 50 % estuvo asociado con rendimientos similares entre RC y RPR. Según Kang *et al.* (2002), Caspari *et al.* (2004) y Leib *et al.* (2006), el rendimiento puede ser incrementado a través del RPR; es probable que tal incremento en rendimiento debido a la aplicación del RPR esté asociado con un raleo de fruta desuniforme, ya que esto no se observó en el presente experimento, ni en otros experimentos con manzano bajo RPR (van Hooijdonk *et al.*, 2004; Zegbe *et al.*, 2005).

El crecimiento del fruto en diámetro ecuatorial, fue estadísticamente ($P \leq 0.05$) igual entre tratamientos al final de la estación de crecimiento (Cuadro 1). La firmeza y la concentración de sólidos solubles totales del fruto fueron estadísticamente similares ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, pero en los frutos de RPR la concentración de la materia seca superó significativamente ($P \leq 0.05$) a los de RC (Cuadro 1). Es improbable que la tendencia a incrementar los azúcares en los frutos con RPR fuese debida a un fenómeno de menor dilución (Mpelasoka *et al.*, 2000), ya que el peso fresco de los frutos en ambos tratamientos fue estadísticamente ($P \leq 0.05$) igual (Cuadro 1).

CONCLUSIONES

El riego parcial de la raíz no redujo el crecimiento del árbol, el rendimiento, ni la eficiencia productiva; pero la eficiencia hídrica se incrementó en 70 % y se ahorró 44 % de agua, en comparación con el riego completo. La firmeza y la concentración de sólidos solubles totales de los frutos fueron similares en ambos tratamientos, pero la concentración de materia seca fue mayor en frutos de árboles bajo RPR. Antes de que esta técnica sea promovida comercialmente, se requieren más estudios que permitan comparar su bondad en otros ambientes y en otros cultivos de manzano.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue parcialmente financiada por la Fundación Produce Zacatecas, A.C., a través del proyecto FPZ/075/2004. Se agradece la valiosa ayuda técnica de Manuel González Solís, José E. Ávila Ibarra, Guadalupe de la Cruz Rodríguez, Juan Bernal Ornelas, Antonio de Haro Alvarado, y en especial de Jorge Omar Zegbe.

Cuadro 1. Efecto del riego completo (RC) y el riego parcial de la raíz (RPR) en el rendimiento, eficiencia productiva y algunas variables de calidad de fruto del manzano 'Golden Delicious'.

Variables	Tratamientos de riego		Significación P > F
	RC	RPR	
Número de frutos por árbol	241 a ¹	200 a	0.653
Rendimiento (kg/árbol)	15.7 a	13.1 a	0.675
Área transversal del tronco (ATT, cm ²)	360 a	341 a	0.707
Eficiencia productiva (kg ATT ⁻¹ cm ⁻³)	0.04 a	0.04 a	0.816
Eficiencia hídrica (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹ H ₂ O)	2.3 b	3.9 a	0.0001
Longitud del brote final (cm)	21.0 a	20.8 a	0.853
Crecimiento final del fruto (mm)	56.3 a	55.0 a	0.380
Peso del fruto (g)	108.6 a	107.5 a	0.773
Firmeza (Newtons)	68.5 a	71.2 a	0.491
Concentración de sólidos solubles totales (%)	16.9 a	17.6 a	0.101
Concentración de materia seca en el fruto (mg g ⁻¹ peso fresco)	184.4 b	200.6 a	0.001

¹Letras diferentes para cada variable indican diferencias significativas (Scheffé, 0.05).

BIBLIOGRAFÍA

- Behboudian M H, T M Mills (1997) Deficit irrigation in deciduous orchards. *Hort. Rev.* 21:105-131.
- Brady N C, R R Weil (2000) *Elements of the Nature and Properties of Soil*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, USA. 559 p.
- Caspari H W, S Neal, P Alspach (2004) Partial rootzone drying-A new deficit irrigation strategy for apple? *Acta Hort.* 646:93-100.
- Crocker J L, W T Witte, R M Augé (1998) Stomatal sensitivity of six temperate, deciduous tree species to non-hydraulic root-to-shoot signalling of partial soil drying. *J. Exp. Bot.* 49:761-774.
- Davies W J, S Wilkinson, B Loveys (2002) Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of the mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phytol.* 153:449-460.
- Dry P R, B R Loveys (1998) Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. *Austr. J. Grape & Wine Res.* 4:140-148.
- Gowing D J G, W J Davies, H G Jones (1990) A positive root-sourced as an indicator of soil drying in apple, *Malus x domestica* Borkh. *J. Exp. Bot.* 41:1535-1540.
- Kang S, X Hu, I Goodwin, P Jerie (2002) Soil water distribution, water use, and yield response to partial root zone drying under shallow groundwater table condition in a pear orchard. *Sci. Hort.* 92:277-291.
- Kilili A W, M H Behboudian, T M Mills (1996a) Composition and quality of 'Braeburn' apple under reduced irrigation. *Sci. Hort.* 67:1-11.
- Kilili A W, M H Behboudian, T M Mills (1996b) Postharvest performance of 'Braeburn' apples in relation to withholding of irrigation at different stages of the growing season. *J. Hort. Sci.* 71:693-701.
- Leib B G, H W Caspari, C A Redulla, P K Andrews, J J Jabro (2006) Partial rootzone drying and deficit irrigation of 'Fuji' apples in a semi-arid climate. *Irrigation Sci.* 24:85-99.
- Medina G G, B Cabañas C, J A Ruiz C, J Madero T, S Rubio D, A Rumayor R, M Luna F, C Gallegos V, R Gutiérrez S, A G Bravo L (2003) Potencial Productivo de Especies Agrícolas en el Estado de Zacatecas. INIFAP-CIRNOC- Campo Experimental Zacatecas. Libro Técnico No. 2. 157 p.
- Mpelasoka B S, M H Behboudian, J Dixon, S M Neal, H W Caspari (2000) Improvement of fruit quality and storage potential of 'Braeburn' apple through deficit irrigation. *J. Hort. Sci. & Biotech.* 75:615-621.
- Mpelasoka B S, M H Behboudian, S R Green (2001a) Water use, yield and fruit quality of lysimeter-grown apple trees: response to deficit irrigation and to crop load. *Irrigation Sci.* 20:107-113.
- Mpelasoka B S, M H Behboudian, S Ganesh (2001b) Fruit quality attributes and their interrelationships of 'Braeburn' apple in response to deficit irrigation and to crop load. *Gartenbauwissenschaft* 66:247-253.
- Ortiz F P, R A Parra Q (2006) Producción de manzano bajo déficit de riego controlado (DRC) en dos sistemas de riego, en el noroeste de Chihuahua. INIFAP-CIRNOC- Campo Experimental Sierra de Chihuahua. Folleto Científico No. 11. 13 p.
- Quiñones P H E (1997) Necesidades hídricas de los cultivos. *In: Manual para Diseño de Zonas de Riego Pequeñas*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, México. pp:13-174.
- Statistical Analysis System (1999-2001) SAS software version 8.2, SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Stoll M, B Loveys, P Dry (2000) Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *J. Exp. Bot.* 51:1627-1634.
- Tan C S, A Cornelisse, B R Buttery (1981) Transpiration, stomatal conductance, and photosynthesis of tomato plants with various proportions of root system supplied with water. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106:147-151.
- Tan C S, B R Buttery (1982) The effect of soil moisture stress to various fractions of the root system on transpiration, photosynthesis and internal water relations of peach seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107:845-849.
- van Hooijdonk B M, K Dorji, M H Behboudian (2004) Responses of 'Pacific RoseTM' apple to partial rootzone drying and deficit irrigation. *Europ. J. Hort. Sci.* 69:104-110.
- Westwood M N (1993) *Temperate Zone Pomology - Physiology and Culture*. Timber Press, Portland, Oregon, USA. 535 p.
- Zegbe J A, M H Behboudian, A Lang, B E Clothier (2005) Respuesta del manzano cv. 'Pacific RoseTM' al riego parcial de la raíz. *In: Memoria del XI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas*. E Sánchez Ch, J M Soto P, R M Yáñez M, M M Mancera, A Nuñez B (eds). Chihuahua, Chih. México. pp:240-243.
- Zegbe, J A, M H Behboudian, B E Clothier (2006) Responses of 'Pepin' processing tomato to partial rootzone drying at different phenological stages. *Irrigat. Sci.* 24:203-210.