

RIEGO PARCIAL DE LA RAÍZ EN MANZANO GOLDEN DELICIOUS

Partial Root Zone Drying in Golden Delicious Apple

René Alejandro Villagrán Deoses¹, Abelardo Núñez Barrios², Rafaél Ángel Parra Quezada^{3‡},
Juan Luis Jacobo Cuellar⁴, Damaris L. Ojeda Barrios²,
Teresita de Jesús Ruíz Anchondo² y Nora Salas Salazar³

¹ Estudiante de Posgrado, ² Profesor Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. 31200 Chihuahua, Chihuahua, México.

³ Profesor Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Extensión Cuahutémoc. 31600 Cuahutémoc, Chihuahua, México.

[‡] Autor responsable (raparra@uach.mx)

⁴ INIFAP Sierra de Chihuahua. Avenida Hidalgo 1213, Col. Centro. 31500 Cuahutémoc, Chihuahua, México.

RESUMEN

La sobre explotación de los acuíferos es un problema de muchas zonas áridas y semiáridas del mundo, por lo tanto, en los últimos años se han desarrollado estrategias para hacer un uso racional de éste recurso, una de ellas es el riego parcial de la raíz (RPR). El objetivo del presente trabajo fue determinar, en manzano Golden Delicious, el efecto del RPR sobre el rendimiento y calidad del fruto; así como cuánta agua se puede ahorrar en comparación con el riego normal. El trabajo se desarrolló en los ciclos 2008 y 2009 en un huerto del INIFAP en Bachiniva, Chihuahua, México. Se evaluaron tres tratamientos: uno de temporal, donde no se aplicó agua de riego (testigo), riego completo (RC) y el RPR donde se aplicó el 50% del RC, el riego se alternó de un lado al otro de la hilera del árbol cada vez que se realizó dicha actividad. Los resultados obtenidos mostraron que el rendimiento, calidad del fruto (diámetro del fruto polar y ecuatorial, firmeza y sólidos solubles totales), crecimiento vegetativo y área foliar fueron estadísticamente igual entre los tratamientos de RPR y RC, en comparación con el testigo que fue afectado negativamente. El ahorro real del agua aplicada en RPR fue del 21.3%, lo que equivale a 1.81 m³ árbol⁻¹.

Palabras clave: riego reducido; uso eficiente del agua; rendimiento; calidad del fruto.

SUMMARY

Over exploitation of aquifers is a big problem in many arid and semi-arid zones of the world. In recent years, new strategies have been developed to optimize water use. One of these is partial root zone drying (PRD).

The aim of this research was to determine the effect of PRD on apple yield and fruit quality and how much water can be save with this strategy. This work was done in Bachiniva, Chihuahua, Mexico, during 2008 and 2009. Three treatments were evaluated: control (only the rain), fully irrigated (FI) and partial root zone drying (PRD). In the case of PRD, the irrigation pipeline was alternated from one side of the tree row to the other during the growing season, applying only 50% of the water used for FI. Results showed that yield, fruit quality (polar and equatorial diameter, firmness and solid soluble solids), shoot growth and leaf area of PRD were not statistically different from those of FI. With PRD, it is possible to save 50% of the water applied through the irrigation system and reduce 21.3% of the total water used in the apple orchard.

Index word: partial irrigation; water use efficiency; yield; fruit quality.

INTRODUCCIÓN

La escasez de agua es un problema común en muchas partes del mundo, debido a la sobre explotación de los mantos acuíferos y al incremento de la población urbana. Esto ha originado que la disponibilidad de agua para riego sea un factor limitante para la producción. Por lo tanto, se deben desarrollar estrategias que permitan hacer un uso racional del agua, como es el riego parcial de la zona radical (RPR), con el cual se reduce la cantidad de agua sin afectar la producción y la calidad de la fruta significativamente. El RPR es una estrategia de riego desarrollada en Australia por Dry y Loveys (1999), consiste en regar la mitad del sistema radical (SR), mientras que simultáneamente el riego es suspendido en la otra mitad del sistema hasta cierto

nivel de abatimiento del agua en el suelo. Al siguiente riego, éste se aplica al lado del SR no irrigado y así sucesivamente, durante toda la estación de crecimiento del cultivo (Stoll *et al.*, 2000). Con esta técnica es posible ahorrar entre el 44 y 50% de agua de riego en manzano cultivado en ambientes semi-áridos (Leib *et al.*, 2006; Zegbe *et al.*, 2006) y húmedos (van Hooijdonk *et al.*, 2004; Zegbe *et al.*, 2007). La respuesta fisiológica de la planta al RPR ha sido descrita recientemente por Davies *et al.* (2002), quienes observan que las raíces expuestas a sequía sintetizan en especial ácido abscísico (ABA), que es transportado vía xilema hacia las hojas, donde induce un cierre estomático parcial. Esto limita el intercambio gaseoso, en consecuencia, mantiene el potencial hídrico similar al de plantas bien regadas e incrementa así la eficiencia en el uso del agua (EUA). Por ejemplo, en peral, esta técnica mejoró tanto la EUA como el rendimiento (Kang *et al.*, 2002); en tanto que en durazno, el RPR y riego comercial produjo el mismo rendimiento y calidad de fruto (Goldhamer *et al.*, 2002). 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, 1999; Stoll *et al.*, 2000). Sin embargo, la información sobre el RPR en plantaciones comerciales de manzano es limitada (van Hooijdonk *et al.*, 2004). 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) y en manzano (Caspari *et al.*, 2004). Zegbe *et al.* (2006) en sus trabajos realizados en manzano “Golden Delicious”, mencionan que el RPR no reduce el crecimiento del árbol, rendimiento, ni la eficiencia productiva; pero la eficiencia hídrica se incrementa en 70% y se ahorra 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. En otro experimento con la variedad “Pacific Rose” Zegbe *et al.* (2007) encontraron que el RPR no alteró la fisiología de los árboles, ni el rendimiento, ya que este fue igual en comparación a cuando se utilizó riego completo, pero tendió a mejorar la calidad de la fruta e incrementó 133% la eficiencia en el uso del agua.

Aproximadamente el 95% de la superficie plantada con manzano en Chihuahua está bajo riego, en su

mayoría de bombeo con eficiencia global de riego de 65%, circunstancia por la que en ocasiones se pueden utilizar hasta 1600 litros (1.6 m³) de agua por kilogramo de manzana producida (Parra *et al.*, 2005). Esto ha ocasionado que en el acuífero Cuauhtémoc, donde existen más de 4200 pozos, se tenga una extracción anual concesionada de 292 millones de metros cúbicos (Mm³) y una recarga de 115 Mm³, lo que genera un déficit anual de 177 Mm³ del vital líquido (Parra *et al.*, 2009). Lo anterior muestra el uso irracional que se hace del acuífero en dichas áreas de riego, situación que plantea la urgente necesidad de identificar y adoptar estrategias efectivas para el manejo del agua de riego. Por lo antes descrito, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto del RPR sobre el rendimiento, calidad del fruto y desarrollo del manzano “Golden Delicious”. Además, precisar los requerimientos hídricos del manzano, y la posibilidad de ahorrar agua en comparación con la práctica de riego que usa el productor.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Sitio Experimental

El presente trabajo de investigación se realizó durante los ciclos primavera-verano en los años 2008 y 2009, en la región manzanera de Bachiniva, Chihuahua, México en un huerto del Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El clima de la zona se clasifica según Köppen modificada por García (1981), como BS₁Kw(w)(e'), que corresponde a un clima semi-seco templado, con lluvias en verano, precipitación invernal menor del cinco por ciento, precipitación media anual de 450 mm y un promedio de 65 días de lluvia. Muy extremo con oscilación anual de 15 °C, un período libre de heladas de 208 días, una temperatura máxima de 39 °C y una mínima de -12.3 °C. Humedad relativa del 65% y vientos dominantes del suroeste. El suelo es de 60 ± 20 cm de profundidad, franco arenoso, con 3% de pendiente, con presencia de piedra y una infiltración básica de 8.14 cm h⁻¹.

Descripción de los Tratamientos

Los tratamientos se establecieron en 30 árboles (10 árboles por tratamiento) de similar vigor, manejo y bajo las mismas condiciones meteorológicas. El lote

experimental consistió de árboles de manzano de 24 años de edad, variedad Golden Delicious injertada en el portainjerto M.26, espaciados a 4.5×3.5 m, con 635 árboles por ha y conducidos en líder central.

Tratamiento 1. Testigo sin riego. En este tratamiento los árboles no fueron regados, solamente contaron con el agua de lluvia.

Tratamiento 2. Riego parcial de la raíz (RPR). Se aplicó 50% del agua suministrada en RC. Para aplicar el RPR la tubería regante se dividió en dos líneas paralelas, de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro, una para cada lado de la hilera de árboles. Las líneas se colocaron a 30 cm separadas del tronco de los árboles. Se instalaron los goteros a cada metro emitiendo un gasto de $16 \text{ L h}^{-1} \text{ árbol}^{-1}$. El riego en ambos lados de los árboles se controló manualmente con válvulas de paso, y se aplicó alternadamente de un lado al otro de los árboles semanalmente. Se aplicaron 16 riegos de la tercera semana de marzo hasta la segunda semana de julio del 2009, que fue cuando el temporal se estableció y no hubo necesidad de regar. Se aplicaron $112.5 \text{ litros árbol}^{-1}$, con $2.5 \text{ goteros árbol}^{-1}$, y 2 h con 45 min de riego, lo que sumó un gasto de 1810 litros o $1.81 \text{ m}^3 \text{ árbol}^{-1}$.

Tratamiento 3. Riego Completo (RC). Se aplicó 100% del agua suministrada, colocando las líneas de riego similar al tratamiento 2, pero los árboles recibieron el riego simultáneamente en ambos lados de la hilera en forma semanal, lo que representó un gasto de 3630 litros árbol^{-1} .

Diseño y Modelo Estadístico

El experimento se condujo en un diseño completamente al azar, donde en hilera contigua se distribuyeron los tres tratamientos con diez repeticiones. Se realizó un análisis de homogeneidad de varianzas para todas las variables, cuando se detectó heterogeneidad, los resultados se analizaron con el programa SAS mediante una prueba no paramétrica de acuerdo con Sprent y Smeeton (2001). Cuando hubo homogeneidad de varianzas se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey ($P = < 0.05$).

Las variables evaluadas fueron: a) precipitación pluvial, consultando la base de datos de la estación meteorológica de Bachiniva, que se encuentra en la red agroclimática de la Unión de Fruticultores de Chihuahua (UNIFRUT); b) contenido de humedad en el suelo, se determinó a partir del 15 de mayo del

2008 hasta el 31 de agosto del 2009, por medio de dos sensores de matriz granular (Irrrometer Watermark^{MR}) por tratamiento (Ley, 1994), instalados a 30 y 60 cm de profundidad. Las lecturas se realizaron semanalmente en la temporada de crecimiento de los árboles y una vez al mes en la temporada de latencia. En cada tratamiento se registró el volumen de agua aplicado (m^3) durante el ciclo de cultivo, utilizando un medidor volumétrico. c) Eficiencia en el uso del agua, se determinó dividiendo los kg de fruta producida por árbol sobre los m^3 de agua aplicada vía riego y vía precipitación pluvial; d) rendimiento, se determinó al momento de la cosecha (19 de septiembre para el ciclo 2008 y 31 de agosto para el ciclo 2009) pesando el total de frutos por árbol de cada tratamiento en una báscula mecánica y se reportó en kilogramos por tratamiento. e) Peso promedio del fruto se obtuvo mediante el peso total de los frutos de cada tratamiento dividiéndose entre el número de frutos obtenidos, reportándose el peso promedio en gramos; f) dinámica del diámetro ecuatorial y polar del fruto, se obtuvo para el ciclo 2008 a partir del 15 de mayo y se hicieron 11 lecturas, cada una con periodicidad semanal. Mientras que para el ciclo 2009 se inició el 14 de mayo y se hicieron 5 lecturas, una cada tres semanas. Se determinó marcando cuatro frutos por árbol elegidos en la parte media y externa del árbol y se utilizó un vernier digital (Surtek^{MR} modelo 122204) reportándose en centímetros. g) Firmeza del fruto, se determinó con base en una muestra de 10 frutos por árbol, para ello se realizaron dos lecturas en sitios opuestos de la parte media de cada fruto con un penetrómetro equipado con un puntal de 11.1 mm de diámetro (Wilson^{MR} modelo FT327) reportándose en libras por pulgada cuadrada; h) sólidos solubles totales, se determinaron con base en una muestra de 10 frutos por árbol. De ambas perforaciones hechas con el penetrómetro se tomaron y mezclaron algunas gotas de jugo, con ello se determinó la concentración de sólidos solubles usando un refractómetro digital con compensación automática por temperatura, (Wilson^{MR} modelo BTX-1) reportándose en grados Brix; i) longitud del brote, se determinó marcando dos brotes por árbol elegidos al azar y se midieron con una regla metálica, reportándose en centímetros. Las lecturas se iniciaron el 15 de mayo, y cada semana se evaluó la longitud del brote hasta completar 11 lecturas para el ciclo 2008, y a partir del 14 de mayo, mediante cinco lecturas realizadas cada tres semanas para el ciclo 2009. j) Área foliar, se midieron el largo y ancho de

las hojas con una regla metálica, para cada tratamiento, se utilizó la ecuación propuesta por Jacobo y Parra (1995): $Y = 0.53 + 0.89X$ (donde: Y = área estimada de la hoja en cm^2 ; $X = (3.1416/4[L \times A])/2 + (L \times A)/4$; L = largo y A = ancho), se reportó en centímetros cuadrados. Se realizó un solo muestreo de 100 hojas por árbol para esta variable el día 8 de agosto del 2009. k) Intercepción de la radiación solar, se determinó en la copa de los árboles con un medidor de radiación fotosintéticamente activo (AccuPAR modelo LP80 con un rango de 0 a $2500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), tomándose a los 80 y 160 cm de altura del árbol y por encima de la copa del mismo; l) deficiencia relativa de agua (DRA), se colectaron muestras de hojas el día 2 de julio del año 2009 en bolsas plásticas y cerradas herméticamente, las bolsas se colocaron a 0°C hasta su procesamiento. Se determinó el peso fresco (PF) y el peso turgente (PT) de 60 discos foliares de 5 mm de diámetro (incluyendo la vena central) por tratamiento, con una balanza analítica (marca Denver Instrument Company Modelo AA200) y se calculó el DRA mediante la fórmula: $\text{DRA} = (\text{PT} - \text{PF})$ reportándose en mg. El peso fresco se determinó al momento de sacar las hojas de las bolsas plásticas. Para obtener el peso turgente se colocaron los discos en tubos de ensayo con agua por un lapso de 24 h para obtener la máxima imbibición a temperatura ambiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Precipitación Pluvial

La precipitación ocurrida en los años 2008 y 2009 fue de 428.6 y 415.2 mm, respectivamente, con una mayor proporción en los meses de julio, agosto y septiembre (Figura 1), lo que indica un periodo de sequía prolongado cuando el árbol está en desarrollo (marzo a agosto) y la presencia de lluvias en invierno. Se considera que los requerimientos del manzano son de 800 mm por año (Parra *et al.*, 2005; Parra *et al.*, 2009), bien distribuidos a lo largo de la temporada de crecimiento, lo que indica que en la zona de estudio se presenta un déficit de agua del temporal que requiere ser satisfecha vía riego, con láminas de 2 a 3 mm diarias, si se desea producir manzano con todo su potencial de rendimiento (arriba de 40 Mg ha^{-1}) y calidad (arriba de 420 frutos de 150 g). La evapotranspiración fue muy alta (1492.02 y 1476.22 mm en 2008 y 2009 respectivamente) en los meses de marzo a agosto, cuando

el árbol estaba en pleno desarrollo, generando alta demanda evapotranspiratoria (4 mm diarios en algunos casos), por lo que se presentaron deficiencias severas de agua. Se observó que en ambos años la precipitación solo aportó el 28% de la evapotranspiración, generando un déficit considerable para el desarrollo del frutal, lo cual hace necesario regar en esa época.

Contenido de Humedad en el Suelo

Los valores de humedad en el suelo (0-30 y 30-60 cm de profundidad), fueron acrecentándose a mayor profundidad del perfil (Figura 2 y 3), por lo tanto mayor humedad aprovechable a mayor profundidad. Los porcentajes de humedad en el suelo para los tratamientos RPR y RC al inicio del desarrollo del fruto y brote, se encontraban en capacidad de campo ($\text{CC} = 24.90\%$) pero una vez que transcurre el tiempo, la humedad en el suelo del tratamiento RPR se abate gradualmente dependiendo si un lado fue regado o no. También se observa que el lado oeste tiene mayor humedad en el suelo, en algunos muestreos, lo que se puede atribuir a la orientación de las hileras, las cuales están en posición norte-sur y por lo tanto el lado este está más soleado durante toda la mañana y, el lado oeste recibe menos radiación por la tarde, por sombreo de la hilera contigua. En el RC que se mantuvo la humedad cercana a capacidad de campo en toda la temporada de crecimiento. En el tratamiento testigo, se puede observar que la humedad se encontraba a punto de marchitez permanente ($\text{PMP} = 13.61\%$) al inicio de la temporada, continuando así hasta la temporada

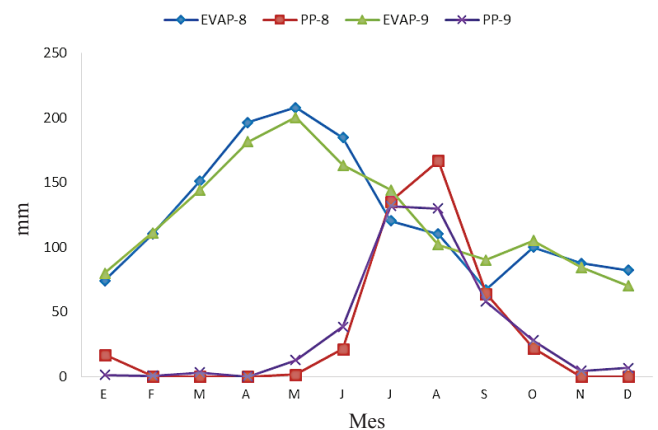


Figura 1. Distribución de la precipitación (PP) y evapotranspiración (EVAP) mensual durante los ciclos 2008 y 2009 en Bachiniva, Chihuahua, México (UNIFRUT, 2009).

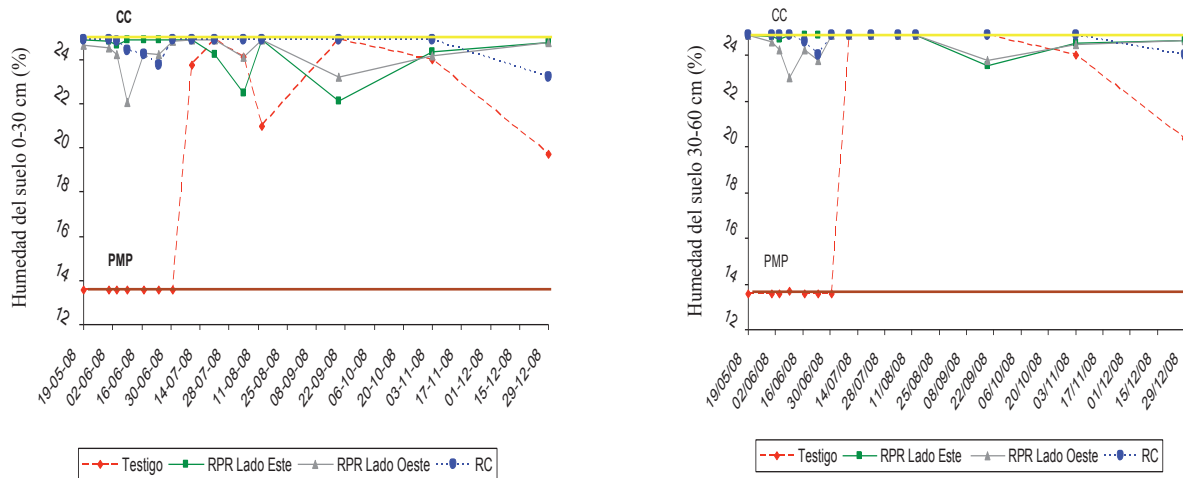


Figura 2. Porcentaje de humedad en el suelo a una profundidad de 0-30 y 30-60 cm durante el 2008. PMP = punto de marchitez permanente, CC = capacidad de campo.

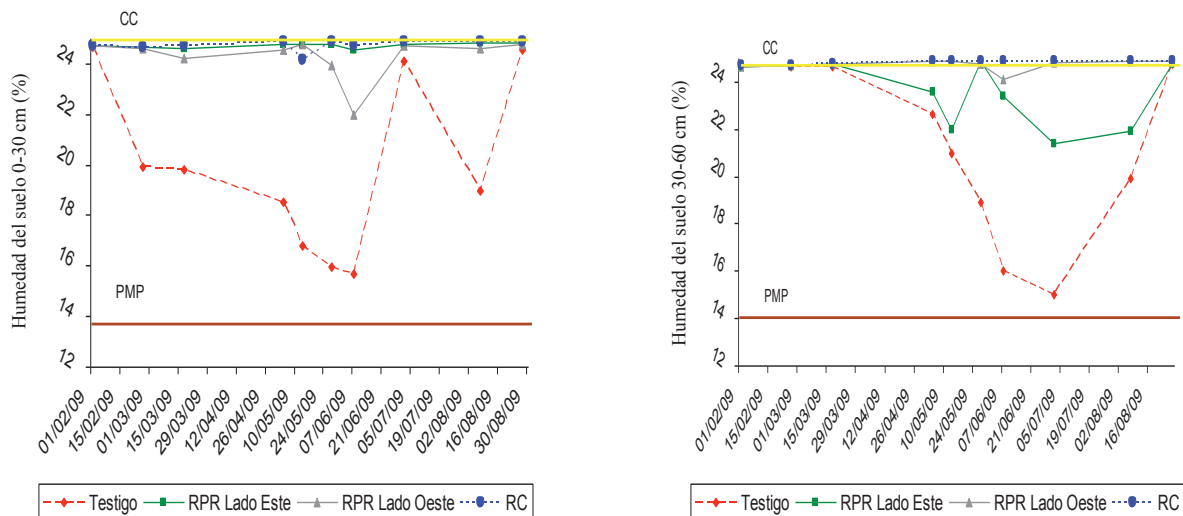


Figura 3. Porcentaje de humedad en el suelo a una profundidad de 0-30 y 30-60 cm durante el 2009. PMP = punto de marchitez permanente, CC = capacidad de campo.

de lluvias (Figura 2 y 3) mientras que los tratamientos de RPR y RC se mantuvieron cercanos a capacidad de campo, lo cual favoreció el rendimiento de los árboles en estos tratamientos.

Eficiencia en el Uso del Agua

Durante el ciclo 2009 se confirmó que con la estrategia del RPR, se ahorró un 50% del agua aplicada vía sistema de riego y un 21.34% del agua utilizada en la producción de manzano, agua aplicada más precipitación pluvial (Cuadro 1). Esta información coincide con Leib *et al.* (2006) y Zegbe *et al.* (2006) ya que mencionan que es posible ahorrar entre el 44 y 50% del agua de riego aplicada. Además, coincide con

Davies *et al.* (2002); Kang *et al.* (2002) y Goldhamer *et al.* (2002), ya que han reportado que con la técnica del RPR es posible ahorrar agua sin afectar rendimiento y crecimiento vegetativo. De igual manera el tratamiento testigo mostró el mayor ahorro de agua utilizada en la producción de manzano (43.0%). Sin embargo, se afectó significativamente el rendimiento y crecimiento vegetativo (Cuadro 2). Los tratamientos de RPR y RC mostraron las mayores eficiencias de producción con 4.39 y 4.35 kg de manzana producida por cada m^3 de agua utilizada en comparación al tratamiento testigo (Cuadro 1). Sin embargo, el tratamiento de RPR mostró la mayor eficiencia de producción con 16.29 kg de manzana por cada m^3 de agua aplicada por el sistema de riego (Cuadro 1).

Cuadro 1. Eficiencia y ahorro en el uso de agua en manzano cv. Golden Delicious, en Bachiniva, Chihuahua, México. 2009.

Tratamientos	Agua aplicada			Producción	Eficiencia de producción		Ahorro de agua		DRA	
	Sistema de riego (SR)	Precipitación pluvial (PP)	Total (SR + PP)		Sistema de riego + precipitación pluvial	Sistema de riego	Sistema de riego + precipitación pluvial	Sistema de riego		
	- - - - -	m ³ árbol ⁻¹	- - - - -	kg árbol ⁻¹	- - - - -	kg·m ⁻³	- - - - -	%	- - - - -	mg
Testigo	0.00	4.90	4.90	12.60 b	2.57	12.60	43.00	100	4.32 a	
RPR	1.81	4.90	6.71	29.49 a	4.39	16.29	21.34	50	2.75 a	
RC	3.63	4.90	8.53	37.10 a	4.35	10.22	0.00	0	2.71 a	

RPR = riego parcial de la raíz; RC = riego completo; DRA = deficiencia relativa de agua. Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey $P \leq 0.05$.

Deficiencia Relativa de Agua (DRA)

No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Cuadro 1). Sin embargo, existen diferencias numéricas importantes, donde el tratamiento testigo obtuvo la mayor diferencia entre el peso fresco y el peso turgente de la hoja con 4.23 mg de agua embebida, en comparación a los tratamientos de RPR y RC que obtuvieron una diferencia de 2.75 y 2.71 mg de agua. Lo anterior indica que las hojas del tratamiento testigo tenían el menor contenido de agua debido a las condiciones de estrés hídrico severo; mientras que en las hojas de los tratamientos de RPR y RC se encontró una menor diferencia entre el peso fresco y peso turgente de la hoja debido a las condiciones de humedad del suelo en el que se encontraban los árboles. Además, se observa que no existen diferencias numéricas entre el RPR y RC, debido, a que el RPR mantiene los procesos fisiológicos de la planta de manera similar a las que han sido adecuadamente regadas (Gowing *et al.*, 1990). Los resultados anteriores coinciden con Zegbe *et al.* (2007) al reportar que los árboles bajo RPR, no

presentaron diferencia significativa en el potencial hídrico de la hoja (Ψ_H) en comparación con los árboles del tratamiento RC.

Rendimiento

Resultados previos indican que el RPR mantiene los procesos fisiológicos de la planta de manera similar a plantas que han sido adecuadamente irrigadas (Stoll *et al.*, 2000; Davies *et al.*, 2002), por lo que el rendimiento no debería disminuir y por tanto, la eficiencia hídrica mejoraría significativamente (Davies *et al.*, 2002). Sin embargo, en el Cuadro 2 se observa que el rendimiento para el ciclo 2009 fue estadísticamente igual para RPR y RC, con 29.5 y 37.1 kg árbol⁻¹ respectivamente, pero las diferencias numéricas son de 7.61 kg árbol⁻¹, o 4.8 Mg ha⁻¹, que definitivamente impactan económicamente al productor al disminuir 20.5% el rendimiento. Por lo antes expuesto, el RPR, en este trabajo afectó el rendimiento, contrario a lo indicado por los autores antes citados. Los árboles testigo disminuyeron notablemente al producir 12.6 kg árbol⁻¹. En el ciclo 2008 no se observó efecto en el RPR y RC

Cuadro 2. Rendimiento, peso del fruto, calidad del fruto y área foliar por hoja en manzano cv. Golden Delicious sometido a diferentes tratamientos de humedad en el suelo. Bachiniva, Chihuahua, México.

Tratamientos	Rendimiento		Peso del fruto		Firmeza		°Bx		Área foliar	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2009	
	- - -	Kg árbol ⁻¹	- - - - -	g	- - - - -	lb in ⁻²	- - - - -	%	- - - - -	cm ²
Testigo	2.6 a	12.6 b	109.6 b	73.6 b	14.8 a	17.5 a	18.2 a	13.1 a	16.8 b	
RPR	2.7 a	29.5 a	134.1 ab	119.5 a	11.8 ab	16.2 b	17.2 a	11.0 b	23.2 a	
RC	2.4 a	37.1 a	164.3 a	116.1 a	13.9 b	15.9 b	18.1 a	11.2 b	26.1 a	

RPR = riego parcial de la raíz; RC = riego comercial; °Bx = grados Brix. Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey $P \leq 0.05$.

debido probablemente a que los árboles estuvieron bajo condiciones de temporal por más de 12 años. Por tal motivo no respondieron a la irrigación en dicho ciclo. La diferencia del rendimiento entre el ciclo 2008 y 2009 para todos los tratamientos se debió principalmente a que en el ciclo 2008 las heladas tardías fueron más severas que en el ciclo 2009 (Cuadro 2).

Peso Promedio del Fruto

En el año 2008, el tratamiento de RC mostró el mayor peso del fruto con 164.38 g (Cuadro 2) y es estadísticamente igual al tratamiento RPR y diferente al testigo que obtuvo 134.05 y 109.27 g respectivamente. De igual manera en el ciclo 2009, no se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento de RC y RPR, pero sí entre el testigo, siendo este último el que obtuvo el menor peso promedio de los frutos con 73.60 g, comparado con los tratamientos RC y RPR que alcanzaron 119.51 y 116.05 g respectivamente (Cuadro 2). Lo anterior coincide con lo reportado por Zegbe *et al.* (2006) quienes mencionaron que el RPR no redujo el rendimiento, ni el peso medio del fruto. La diferencia del peso de los frutos entre el ciclo 2008 y 2009 fue debido a las heladas tardías, que disminuyeron el amarre del fruto y por consecuencia el tamaño del mismo aumentó en el ciclo 2008.

Firmeza del Fruto

En el año 2008, el tratamiento testigo mostró la mayor firmeza del fruto con 14.82 lbs in⁻², seguido de los tratamientos de RC y RPR con 13.93 lbs in⁻², y 11.82 lbs in⁻² de presión respectivamente (Cuadro 2). De igual manera en el ciclo 2009, el tratamiento testigo mostró la mayor firmeza de los frutos con 17.46 lbs in⁻², en comparación a los tratamientos de RC y RPR que obtuvieron 15.97 y 16.18 lbs in⁻² de presión (Cuadro 2) respectivamente, no existiendo diferencia significativa entre estos dos tratamientos. Estos resultados coinciden con lo reportado por Zegbe *et al.* (2006) donde reportan que el RPR no reduce la firmeza del fruto, ya que ellos encontraron que la firmeza de los frutos del tratamiento RC es estadísticamente igual a la de los frutos del RPR. Sin embargo, el tratamiento testigo alcanzó la mayor firmeza de los frutos (Cuadro 2) debido a que contaba con los frutos más pequeños.

Grados Brix (°Bx)

En el año 2008, no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos (Cuadro 2), sin embargo, en el ciclo 2009 el tratamiento testigo mostró la mayor cantidad de sólidos solubles de los frutos con 13.1% de °Bx en comparación a los tratamientos de RC y RPR que obtuvieron 11.0 y 11.2 % de °Bx (Cuadro 2) respectivamente. Mpelasoka *et al.* (2000) indicaron que el RPR tiende a incrementar los azúcares en los frutos, debido a un fenómeno de menor dilución, pero en este trabajo se encontró lo contrario. Sin embargo, se concuerda con lo reportado por Zegbe *et al.* (2006) ya que no encontraron diferencia significativa entre los tratamientos de RC y RPR para esta variable.

Área Foliar

Los tratamientos de RC y RPR mostraron la mayor cantidad de área foliar con 26.12 y 23.24 cm² hoja⁻¹ respectivamente, siendo estos estadísticamente iguales. Sin embargo, existen diferencias significativas en comparación al tratamiento testigo ya que este mostró la menor cantidad de área foliar con tan solo 16.83 cm² hoja⁻¹ (Cuadro 2). Esto indica que las hojas pequeñas son un mecanismo de defensa para reducir la transpiración y mantener un potencial de presión adecuado para realizar fotosíntesis (Azcón y Talón, 2000).

Diámetro Ecuatorial y Polar del Fruto

La dinámica de crecimiento del fruto (diámetro ecuatorial y polar) indica que hay diferencias significativas importantes para el 2008, desde el tercer muestreo (9 de junio) hasta el décimo muestreo (13 de agosto), donde el tratamiento de temporal (testigo) presentó el menor diámetro de fruto en comparación a los tratamientos de RC y RPR que presentaron el mayor diámetro, siendo estadísticamente iguales entre sí. Sin embargo, en el último muestreo (19 de septiembre) el tratamiento de temporal (testigo) alcanzó a los tratamientos RC y RPR, presentando estadísticamente igual diámetro ecuatorial (Figura 4), debido probablemente al efecto de las lluvias que se presentaron en estas fechas (Figura 1). Lo anterior indica que el manzano cuando está sometido a estrés

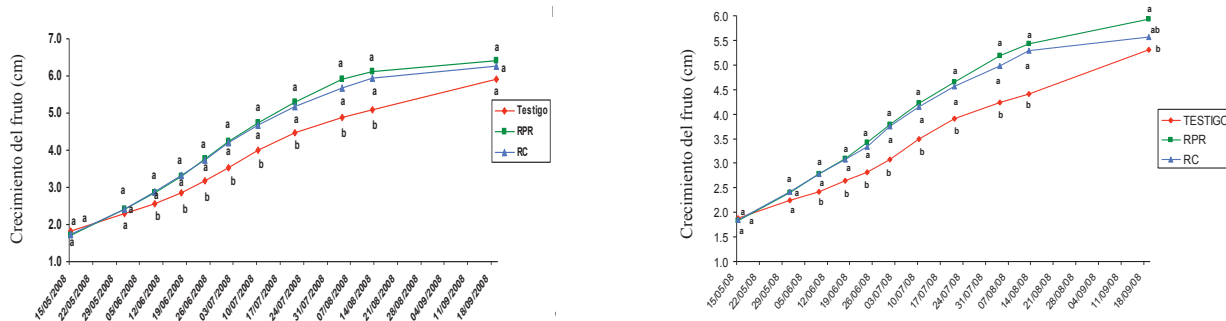


Figura 4. Diámetro ecuatorial y polar (cm) por tratamiento en el ciclo 2008. Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey $P \leq 0.05$

hídrico, presenta mecanismos de defensa que protegen a la planta de la deshidratación, pero cuando el estrés hídrico pasa, el crecimiento se reanuda en forma normal (Marsal y Girona, 1997; Naor *et al.*, 1999; Parra *et al.*, 2002). No así para el diámetro polar, ya que el tratamiento de RPR mostró el mayor valor con 5.9 cm, seguido de los tratamientos RC y testigo con 5.5 y 5.3 cm respectivamente (Figura 4).

La dinámica de crecimiento del fruto para el 2009 (diámetro ecuatorial y polar) indicó que hay diferencias significativas importantes, desde el tercer muestreo (2 julio) hasta el quinto muestreo (31 de agosto), donde el tratamiento de temporal (testigo) presentó el menor diámetro de fruto en comparación a los tratamientos RC y RPR que presentaron el mayor diámetro, siendo estadísticamente iguales entre sí (Figura 5), similar al comportamiento del 2008. Con esto se confirma que el RPR se puede utilizar sin afectar significativamente el tamaño del fruto (Stoll *et al.*, 2000; Davies *et al.*, 2002; Zegbe *et al.*, 2006).

Longitud del Brote

El brote del manzano presentó un rápido crecimiento, lo que indica que en seis semanas aproximadamente, el brote crece lo que crecerá en el año, ya que después de ese período, no se presentó otro flujo de crecimiento (Figura 6). En el ciclo 2008 (datos no presentados) no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos en ningún muestreo a través de la temporada, debido a que todos los árboles habían pasado por un período de doce años sin regarse, solamente contaban con el agua de lluvia. Sin embargo, en el ciclo 2009 los tratamientos de RC y RPR alcanzaron crecimientos de 32.7 y 34.1 cm (Figura 6) respectivamente, no presentando diferencias significativas entre ellos en ningún muestreo a través de la temporada, pero mostraron diferencia significativa en comparación al tratamiento testigo ya que este solo alcanzó crecimientos promedio de 11.5 cm, similar al crecimiento del 2008 (Figura 6). Por todo

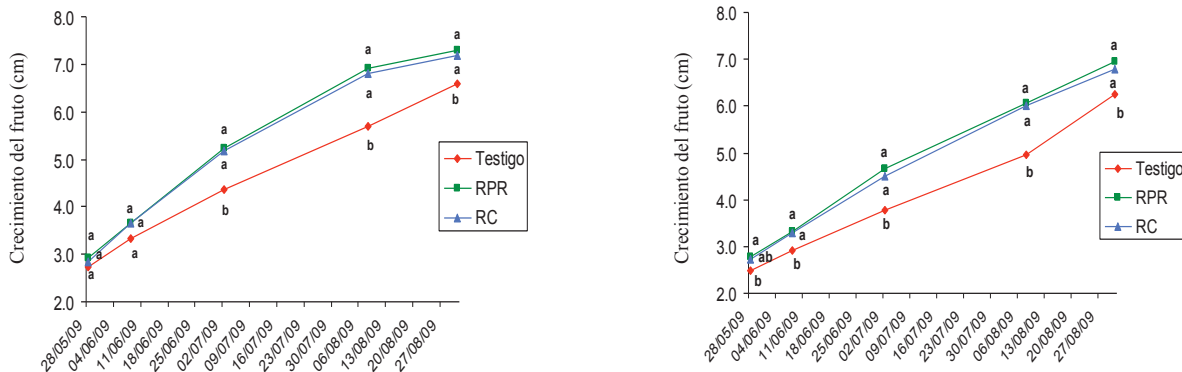


Figura 5. Diámetro ecuatorial y polar (cm) por tratamiento en el ciclo 2009. Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey $P \leq 0.05$

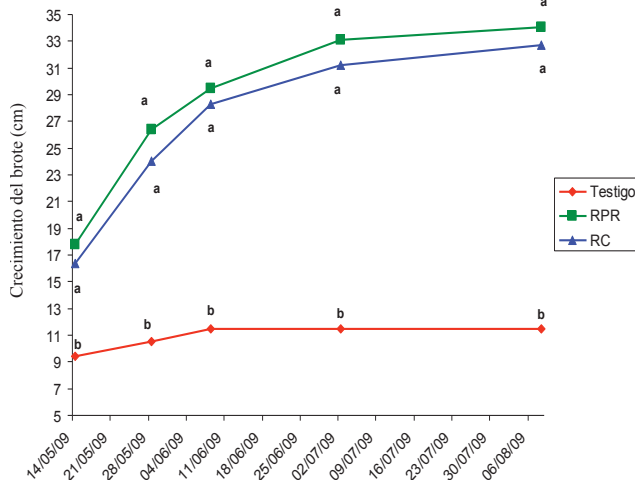


Figura 6. Crecimiento del brote (cm) por tratamiento del ciclo 2009. Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey $P \leq 0.05$

lo anterior, coincidimos con lo reportado por Zegbe *et al.* (2006) en sus trabajos realizados en manzano “Golden Delicious”, en donde mencionan que el RPR no reduce el crecimiento del árbol. Esto indica además, que el proceso que más se afecta con un estrés hídrico severo, es el crecimiento vegetativo, como se observa en el tratamiento testigo.

Intercepción de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA)

Los tratamientos de RC y RPR mostraron la menor cantidad de RFA en la altura A (80 cm del suelo) con $291.7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y $322.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 7) respectivamente, y son estadísticamente iguales. Sin embargo, existen diferencias significativas en comparación al tratamiento testigo ya que este mostró la mayor cantidad RFA, con $623.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 7). Esto significa que a mayor cantidad de RFA menor cantidad de área foliar, ya que las hojas dificultan la entrada de ésta. Lo que indica que el RPR genera suficiente follaje y crecimiento vegetativo para generar sitios reproductivos para el siguiente año. Para la altura B (1.60 m del suelo) el tratamiento testigo mostró la mayor cantidad de RFA, seguido por los tratamientos de RPR y RC, existiendo diferencia estadística entre los tres tratamientos. Para la altura C (sobre la copa de los árboles) no existen diferencias significativas, dado que la luz fue recibida sobre el árbol al momento de las lecturas.

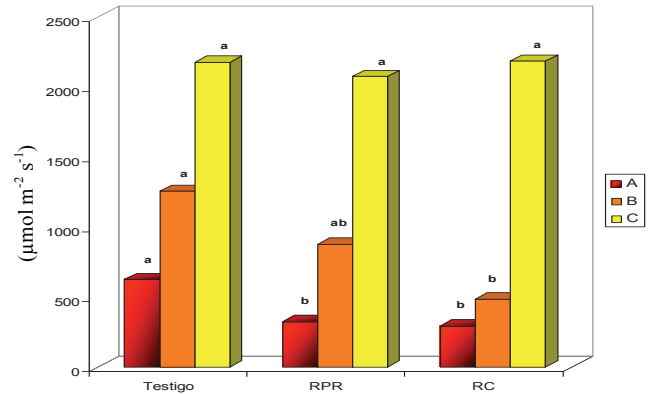


Figura 7. Radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) por tratamiento a diferentes niveles del suelo (A = 80 cm; B = 160 cm; C = sobre la copa del árbol) durante el ciclo 2009. Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey $P \leq 0.05$

CONCLUSIONES

- El ahorro real del agua aplicando el riego parcial de la raíz (RPR) fue del 21.3%, sin embargo, el uso de este tipo de riego no afectó significativamente el crecimiento del árbol.
- El rendimiento fue estadísticamente igual entre el RPR y el riego completo (RC), pero el RPR disminuyó el rendimiento de fruta en 20.1%.
- La calidad del fruto en el RPR, en términos de tamaño y peso promedio del fruto, firmeza y concentración de sólidos solubles totales fue similar al tratamiento del riego completo en la cosecha del ciclo 2009.
- El riego parcial de la raíz es una técnica potencialmente útil para la producción sustentable del manzano en el centro y norte de México, donde el agua es una limitante para la producción del manzano.

LITERATURA CITADA

- Azcón, J. y M. Talón. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill/Interamericana. España.
- Caspari, H. W., S. Neal, and P. Alspach. 2004. Partial rootzone drying-A new deficit irrigation strategy for apple. *Acta Hort.* 646: 93-100.
- Crocker, J. L., W. T. Witte, and 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, and 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. and B. R. Loveys. 1999. Grapevine shoot growth and stomatal conductance are reduced when part of the root system is dried. *Vitis* 38: 151-156.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Goldhamer, D. A., M. Salinas, C. Crisosto, K. R. Day, M. Soler, and A. Moriana. 2002. Effects of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on late harvest peach tree performance. *Acta Hort.* 592: 343-350.
- Gowing, D. J. G., W. J. Davies, and H. G. Jones. 1990. A positive rootsourced signal as an indicator of soil drying in apple, *Malus x domestica* Borkh. *J. Exp. Bot.* 41: 1535-1540.
- Jacobo C. J. L. y R. A. Parra Q. 1995. Estimación del área foliar en manzano. *Rev. Fitotec. Mex.* 18: 193-200.
- 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.
- 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" apples in semi-arid climate. *Irrig. Sci.* 24: 85-99.
- Ley, T. W. 1994. Soil water monitoring and measurement. pp. 51-64. *In*: K. M. Williams and T. W. Ley (eds.). *Tree fruit irrigation*. Good fruit grower. Washington, DC, USA.
- Marsal, J. and J. Girona. 1997. Relationship between leaf water potential and gas exchange activity at different phenological stages and fruit loads in peach trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122: 415-421.
- Mpelasoka, B. S., M. H. Behboudian, J. Dixon, S. M. Neal, and H. W. Caspari. 2000. Improvement of fruit quality and storage potential of "Braeburn" apple through deficit irrigation. *J. Hort. Sci. Biotech.* 75: 615-621.
- Naor, A., I. Kein, H. Hupert, Y. Grinblat, M. Peres, and A. Kaufman. 1999. Water stress and crop level interactions in relation to nectarine yield, fruit size distribution, and water potentials. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 124: 189-193.
- Parra Quezada, R. A., A. E. Becerril R. y C. López. 2002. Transpiración, resistencia estomática y potenciales hídricos en manzano "Golden Delicious" injertados sobre portainjertos clonales. *Terra* 20: 113-121.
- Parra Quezada, 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.
- Parra Quezada, R. A., P. Ortiz Franco, J. P. Amado Álvarez y N. Chávez Sánchez. 2009. Productividad y crecimiento de manzano bajo déficit de riego controlado. *Terra Latinoamericana* 27: 337-343.
- Sprent, P. and N. C. Smeeton. 2001. *Applied nonparametric statistical methods*. Chapman and Hall/CRC. New York, NY, USA.
- Stoll, M., B. Loveys, and P. Dry. 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *J. Exp. Bot.* 51: 1627-1634.
- van Hooijdonk, B. M., K. Dorji, and M. H. Behboudian. 2004. Responses of "Pacific Rose"TM apple to partial root zone drying and deficit irrigation. *Eur. J. Hort. Sci.* 69: 104-110.
- Zegbe, J. A., A. P. Serna. y A. G. Bravo. 2006. Riego parcial de la raíz en manzano "Golden Delicious" en un ambiente semi-arido. *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 69-73.
- Zegbe, J. A., M. H. Behboudian, A. Lang y B. E. Clothier. 2007. Respuesta del manzano "Pacific Rose"TM al riego parcial de la raíz. *Rev. Chapingo Serie Hort.* 13: 43-48.