

RESPUESTA DEL MANZANO “PACIFIC ROSE™” AL RIEGO PARCIAL DE LA RAÍZ

J. A. Zegbe¹; M. H. Behboudian²;
A. Lang³, B. E. Clothier³

¹Campo Experimental Zacatecas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Apartado Postal Núm. 18, Calera de Victor Rosales, Zacatecas, C. P. 98500, MÉXICO. Correo-e: jzegbe@inifapzac.sagarpa.gob.mx (*Autor responsable)

²Hort Science Group, INR 433, Massey University, Palmerston North, NEW ZEALAND.

³HortResearch, Private Bag 11 030, Palmerston North, NEW ZEALAND.

RESUMEN

El manzano es cultivado en áreas donde el agua para riego es casi siempre un factor limitante; por consiguiente, se necesitan desarrollar nuevas técnicas de riego para el ahorro de agua y probadas para un sistema de producción sustentable de manzano. En la estación de crecimiento del 2000-01, se estudió el efecto del riego parcial de la raíz (RPR) en el estatus hídrico del árbol, intercambio gaseoso, rendimiento y calidad del manzano “Pacific Rose™”, cultivado en una zona húmeda de Nueva Zelanda. Los tratamientos fueron: riego comercial (RC, testigo) y RPR. En general, el estatus hídrico del árbol y el intercambio gaseoso fueron igual entre tratamientos. El rendimiento, sección transversal del tronco (STT), eficiencia de rendimiento (rendimiento/STT) por árboles y el peso promedio del fruto fueron iguales entre tratamientos, pero la eficiencia en el uso de agua de riego fue significativamente mejorada en árboles bajo RPR, con relación a aquellos bajo RC. El uso del RPR ahorró 0.15 megalitros de agua por hectárea. La calidad del fruto, en términos de concentración de materia seca, índice de almidón, concentración de sólidos solubles totales y color del fruto, fue igual entre tratamientos. Por lo tanto, el método de RPR podría ser sugerido como una práctica para el ahorro de agua, sin efectos negativos en el rendimiento y calidad de la fruta en ambientes húmedos; sin embargo, se debe realizar investigación en RPR en ambientes semiáridos.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Malus pumila* Mill., ahorro de agua, relaciones hídricas, rendimiento, calidad de fruto.

RESPONSE OF “PACIFIC ROSE™” APPLE TO PARTIAL ROOT IRRIGATION

ABSTRACT

Apple trees are grown in areas where irrigation water is almost always a limiting factor; therefore, new irrigation techniques for saving irrigation water need to be developed and tested for a sustainable production system for this fruit crop. During the 2000-01 growing season, we studied the effect of partial root irrigation (RPR) on tree water status, gaseous exchange, and yield and fruit quality of “Pacific Rose™” apple trees grown in the humid region of New Zealand. Treatments included commercial irrigation (RC, control) and RPR. In general, tree water status and gaseous exchange were the same between treatments. Yield, transversal trunk section (STT), yield efficiency (yield/STT) per tree, and average fruit weight were the same between treatments, but efficiency of irrigation water use was significantly improved in trees under RPR, when compared to trees under RC. Using RPR resulted in savings of 0.15 megaliters of water per hectare. Fruit quality, in terms of dry matter concentration, starch index, total soluble solid concentration and fruit color, was the same between treatments. Therefore, RPR could be suggested as a water-saving practice without detrimental effects on yield and fruit quality in humid environments; however, research on RPR should be carried out in arid environments.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Malus pumila* Mill., water savings, water relations, yield, fruit quality.

INTRODUCCIÓN

El manzano corresponde a una de las especies frutícolas mayormente cultivado en un amplio tipo de climas,

suelos y disponibilidad de agua para riego (Westwood, 1993). Sin embargo, la disponibilidad de agua para riego se ha convertido en un factor limitante para la producción, debido

a la sobre explotación de los mantos acuíferos y al incremento en la población urbana, la cual demanda cada vez mayores volúmenes de agua dulce para consumo doméstico e industrial (Bouwer, 2003). Por lo tanto, el ahorro de agua para riego y mejorar la eficiencia en el uso de agua (EUA), son temas de importancia para la producción sustentable, no sólo del manzano, sino para la mayoría de las especies hortícolas cultivadas. Esto implica desarrollar tecnologías de riego para el ahorro de agua y así asegurar su disponibilidad y eficiente uso de la misma.

El déficit hídrico regulado (DHR) y el riego parcial de la raíz (RPR), son dos técnicas de riego que permiten un ahorro significativo de agua. El DHR involucra aplicar menos agua al cultivo que la evapotranspiración (ET). El manzano ha sido evaluado bajo este concepto (Behboudian y Mills, 1997), pero escasamente bajo el concepto de Riego Parcial de la Raíz (RPR) (Van Hooijdonk *et al.*, 2004). En contraste, el RPR es una estrategia de riego relativamente nueva, la cual consiste en que aproximadamente la mitad del sistema radical (SR) sea irrigada, mientras que simultáneamente el riego es suspendido en la otra mitad del sistema hasta cierto nivel de abatimiento de agua en el suelo. Al siguiente riego, éste se aplica al lado del SR en proceso de secado y así sucesivamente, durante toda la estación de crecimiento del cultivo (Stoll *et al.*, 2000). Con esta técnica se pretende ahorrar 50 % del agua que se aplicaría al tomar como referencia la ET, o el estado del agua en el suelo. El RPR se consideró equivalente al usado en inglés como "Partial Rootzone Drying", recientemente propuesto por Dry y Loveys (1999). El mecanismo fisiológico asociado al RPR, está relacionado con el ácido abscísico (ABA), principalmente, el cual es generado en las raíces en el suelo en proceso de secado. El ABA es traslocado a las hojas, provocando un cierre estomático parcial y limitando en la misma proporción del intercambio gaseoso, pero sin alterar el estado del agua en el árbol (Gowing *et al.*, 1990; Davies *et al.*, 2002). Esto se refleja finalmente en un incremento significativo en la EUA (Davies *et al.*, 2002). 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). Por tanto, la presente investigación tuvo como objetivo probar la hipótesis de que el RPR induciría un efecto similar al RC en el intercambio gaseoso, estado del agua en el árbol, rendimiento, calidad del fruto y la EUA en árboles de manzano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental, material genético y tratamientos

El experimento se realizó en la Unidad de Cultivos Frutícolas de la Universidad de Massey, en Palmerston North, Nueva Zelanda, durante la estación de crecimiento de 2000-2001. El clima del sitio es húmedo templado, con una precipitación media anual de 960 mm. El suelo es del tipo

franco arenoso. El lote experimental consistió en árboles de manzano de cuatro años de edad, cada árbol constituido por tres partes: "Pacific Rose™", interinjerto M9 y portainjerto MM106, espaciados a 4 x 3 m y conducidos en líder central. Cada bloque consistió en dos parcelas, cada una con cuatro árboles como unidad experimental por tratamiento y estos últimos repetidos cuatro veces.

Los tratamientos fueron: riego comercial (RC, testigo) y riego parcial de la raíz (RPR) fijo. Este último consistió en regar un solo lado del sistema radical, mientras que el riego fue suspendido en el resto del sistema radical durante toda la estación de crecimiento. Para la aplicación del RPR, se dividió la tubería regante en dos líneas paralelas, una para cada lado de la hilera de árboles. Las líneas de riego se colocaron a 20 cm separadas del tronco de los árboles. Se usaron dos micro-aspersores (uno por cada lado de la hilera de árboles), que cubrieron un área de suelo de 180 ° y se colocaron a 5 cm del tronco y entre pares de árboles. No obstante que el riego de la plantación fue automatizado y activado con base en lecturas de tensiómetros, la aplicación de éste en ambos lados de RPR, se controló manualmente con válvulas de paso.

Para evitar la interferencia del agua de lluvia, el suelo de las parcelas bajo RPR fue cubierto con polietileno transparente un mes antes del inicio de la floración, la cual ocurrió el 23 de octubre del 2000.

Excepto por el riego, el manejo de los árboles fue hecho mediante prácticas comerciales de producción, que incluyeron: poda de fructificación, aplicación de fertilizante, control de plagas y enfermedades y control de maleza. La cantidad de frutos por árbol se ajustó 53 días después de la floración completa con un raleo manual, al considerar seis frutos por centímetro cuadrado de la sección transversal del tronco (Tustin *et al.*, 1999).

Contenido volumétrico del agua del suelo

El contenido del agua (θ , $m^3 \cdot m^{-3}$) en el suelo se midió semanalmente por reflectometría (TDR, Trase System-Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA), al colocar pares de sondas a ambos lados (un par en cada lado) de la hilera de los árboles a una distancia de 25 y 50 cm del tronco y de los emisores, respectivamente; las sondas se instalaron a una profundidad del suelo de 50 cm.

Intercambio gaseoso

La conductancia estomática (g_s , $cm \cdot s^{-1}$), transpiración (E , $mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) y la asimilación de CO_2 (A , $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$), se determinaron semanalmente en ocho hojas maduras y expuestas a la radiación solar por parcela, con una consola portátil (modelo LI-6200, Li-Cor Inc., NE, USA). Las hojas se eligieron de la parte media de brotes de un año de edad y ubicados en la parte media y más externa de los árboles. Las determinaciones fueron hechas entre las 12:00 y 13:00 h.

Potencial hídrico

En las mismas fechas en que se determinó el intercambio gaseoso, se evaluó el potencial hídrico (Ψ_H , megapascales, MPa) estacional de los árboles, en seis hojas maduras y expuestas a la radiación solar (cuando se tomaron al medio día) por parcela. Las observaciones se hicieron entre las 5:00 y 6:00 h y entre las 12:00 y 13:00 h con una bomba de presión tipo Scholander (Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA). La determinación del Ψ_H (al medio día) se hizo en hojas vecinas a las usadas en la determinación del intercambio gaseoso.

Rendimiento y componentes de rendimiento

En la cosecha, que se realizó el 17 de abril del 2001, se registró el rendimiento (kg) y número de frutos por árbol. Posteriormente, se midió el perímetro de tronco de cada árbol a 20 cm arriba del injerto y se calculó la sección transversal del tronco (cm^2) y con ello se evaluó la eficiencia de rendimiento por árbol ($\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$). La eficiencia en el uso del agua (EUA, $\text{kg}\cdot\text{litro}^{-1}$) se calculó dividiendo el rendimiento (kg) por árbol entre los litros de agua aplicados. Debido a las condiciones húmedas del sitio experimental, no se hizo un balance de humedad en el suelo; por consiguiente, los valores de EUA podrían estar subestimados.

Calidad del fruto

La calidad de fruto se evaluó un día después de la cosecha en 24 frutos por tratamiento (seis por parcela), los cuales fueron tomados al azar de la parte media y más externa de cada árbol. Las variables obtenidas de cada fruto se describen a continuación.

Color de la epidermis del fruto

El color de la epidermis, términos de ángulo hue, se tomó en dos lados opuestos de la parte ecuatorial de cada fruto con un cromómetro (modelo CR-200 Minolta, Osaka, Japan).

Peso y firmeza del fruto

El peso individual de cada fruto se evaluó en una balanza analítica (Mettler Instrument AG CH-8606, Greifensee-Zurich, Switzerland). Después, la firmeza (N = newtons) en cada fruto, se determinó en dos sitios opuestos de la parte media de cada fruto con un penetrómetro equipado con una puntal de 11.1 mm de diámetro (modelo FT 327, Alfonsine, Italy).

Concentración de sólidos solubles totales

De ambas perforaciones hechas con el penetrómetro, se tomaron algunas gotas de jugo, se mezclaron y la concentración de sólidos solubles totales se determinó con un refractómetro de mano con compensación por temperatura automática (modelo ATC-1 Atago, Tokyo, Japan).

Concentración de materia seca e índice de almidón del fruto

Cada fruto se partió transversalmente, una mitad se utilizó para obtener la concentración de materia seca y la otra para cuantificar el índice de almidón. La concentración de materia seca se determinó en base a peso fresco del fruto ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco); ésta se determinó tomando una muestra compuesta de 25 g del mesocarpio fresco (excluyendo la epidermis) y se llevó a peso seco constante en estufa durante 15 días a 60 °C. El índice de almidón se determinó sumergiendo mitades de frutos cortados transversalmente por 30 segundos en una solución de yodo. La hidrólisis del almidón se cuantificó en una escala de 0 (100 % almidón) a 6 (sin almidón) (Reid *et al.*, 1982).

Análisis estadístico

La información se analizó en un modelo lineal en bloques completos al azar con el procedimiento GLM del sistema de análisis estadístico (SAS ver. 8.2, SAS Institute, Cary, NC, USA, 1999-2001). Antes del análisis, los valores del color del fruto e índice de almidón fueron transformadas a arco-seno y a la raíz cuadrada, respectivamente. Los valores medios de esas variables se presentan después de su retransformación. En la comparación de medias de tratamiento se utilizó el método de la diferencia mínima significativa con un nivel de significación al 5 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido volumétrico del agua del suelo

El concepto de riego parcial de la raíz involucra aplicar agua a la mitad del sistema radical mientras que la otra mitad es expuesta a un abatimiento de la humedad del suelo previamente establecido. Al siguiente turno, el riego se cambia hacia la parte de la raíz (suelo) que se dejó secar y así sucesivamente durante el desarrollo del cultivo (Stoll *et al.*, 2000). Éste no fue el caso durante el proceso de esta investigación, porque aun cuando el riego fue suspendido en una porción de raíz, la humedad del suelo efectivamente tendió a disminuir entre los 52 y 100 días después de la floración completa (DDFC). A los 100 DDFC se registró, en promedio, el punto más bajo del contenido volumétrico del agua en el suelo ($\theta = 0.247 \text{ m}^3\cdot\text{m}^{-3}$). A partir de este punto, θ tendió no sólo a estabilizarse, sino también a incrementarse ligeramente (Figura 1). Esta situación no permitió alternar el riego del lado húmedo al seco durante el período de evaluación. El comportamiento de la humedad del suelo en el lado seco de los árboles expuestos al RPR pudo involucrar uno o más procesos. El primero podría estar relacionado con un movimiento lateral del agua, del lado húmedo al lado seco del suelo. Sin embargo, esto no pudo ser la razón principal, pues el suelo del sitio permite un drenaje vertical relativamente libre (Brady y Weil, 2000). Por lo tanto, no se esperaba un gran movimiento lateral del agua

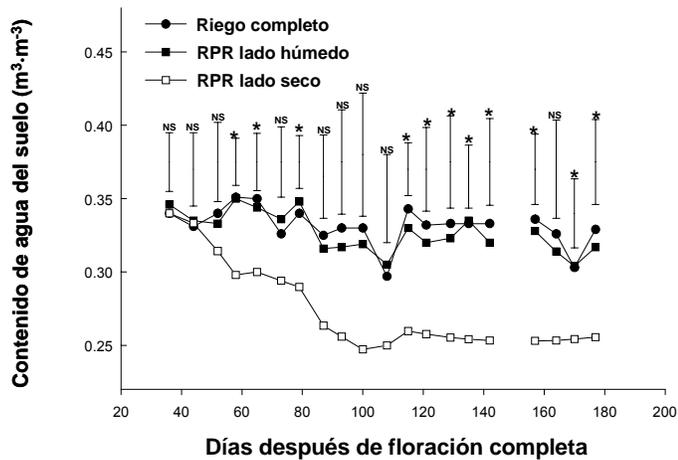


FIGURA 1. Cambios del contenido volumétrico del agua en el suelo en árboles de manzano “Pacific Rose™” regados comercialmente (RC) y bajo riego parcial de la raíz (RPR) en Palmerston North, Nueva Zelanda (2000-2001). Cada punto representa el promedio de cuatro observaciones y las barras verticales indican la diferencia mínima significativa. NS, *, no significativo o significativo a una $P \leq 0.05$, respectivamente.

de un lado hacia el otro. Otra alternativa podría estar relacionada con absorción de agua por la raíz desde perfiles más profundos del suelo (Green y Clothier, 1999) o por procesos de presión de la raíz, o una combinación de ambos procesos (Atwell *et al.*, 1999). En estas condiciones, parte del agua absorbida pudo ser liberada del sistema radicular hacia el suelo seco debido a gradientes de potencial entre el suelo y la raíz (Atwell *et al.*, 1999), y así estabilizar el θ en el perfil de suelo evaluado en esta investigación. El θ del lado húmedo del RPR y del RC se mantuvo cercano a la capacidad de campo.

Intercambio gaseoso

Durante el desarrollo del RPR, se espera que las raíces expuestas al secado parcial del suelo sean estimuladas a producir y traslocar hormonas (ABA, principalmente) a las hojas e inducir un cierre parcial de los estomas, limitando así el intercambio gaseoso (Gowing *et al.*, 1990; Dry y Loveys, 1999). Sin embargo, se observó que la conductancia estomática y la transpiración fueron significativamente mayores en los árboles bajo RPR en una sola ocasión, de 21 mediciones realizadas durante el desarrollo de esta investigación; en general, el comportamiento de ambos parámetros fue igual entre árboles expuestos a RPR o al RC (Figura 2B y 2C). Lo anterior, es indicativo de que no se desarrolló déficit hídrico alguno en los árboles bajo RPR. Más aún, en manzano, los estomas llegan a ser sensitivos al déficit hídrico a -3 MPa, aproximadamente (Flore y Lakso, 1989), lo cual no sucedió en este experimento, y en consecuencia, la tasa fotosintética (A) se comportó de manera similar entre ambos tratamientos (Figura 2A).

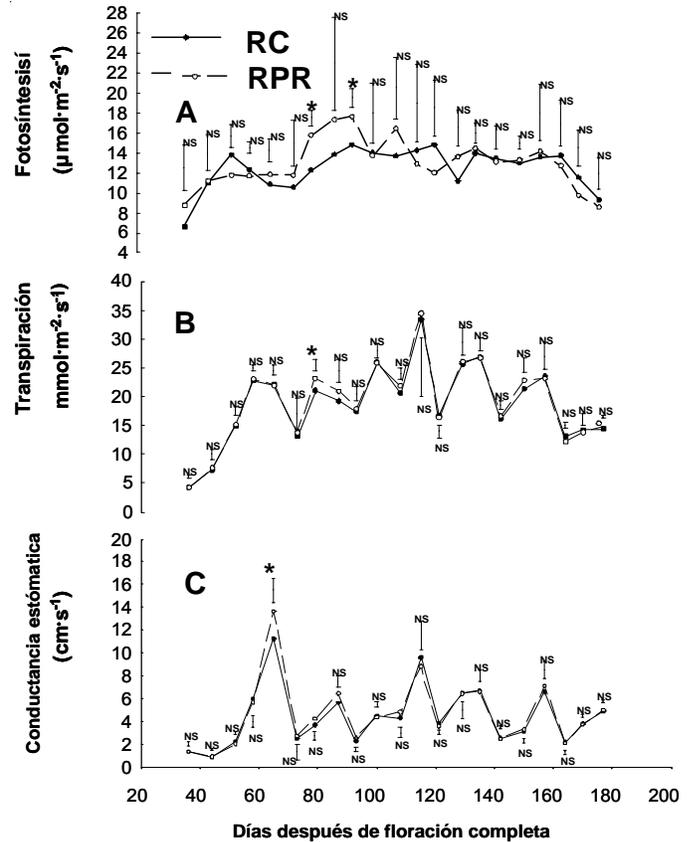


FIGURA 2. Cambios estacionales de fotosíntesis (A), transpiración (B) y conductancia estomática (C) en árboles de manzano “Pacific Rose™”, regados comercialmente (RC) y bajo riego parcial de la raíz (RPR) en Palmerston North, Nueva Zelanda (2000-2001). Cada punto en RC y RPR representa el promedio de 16 y 32 observaciones, respectivamente, y las barras verticales indican la diferencia mínima significativa. NS, *, no significativo o significativo a una $P \leq 0.05$, respectivamente.

Potencial hídrico

Otro efecto benéfico del RPR en la fisiología de la planta es mantener (sin alteraciones significativas) el estatus hídrico de la hoja (Ψ_H) similar al de plantas cuyo sistema radical ha sido bien irrigado (Gowing *et al.*, 1990). El mantener una parte del sistema radical sin riego en los árboles bajo RPR, resultó en una reducción significativa del Ψ_H en dos y cuatro ocasiones de 21 observaciones realizadas antes del amanecer y al mediodía, respectivamente (Figura 3). En general, el Ψ_H en los árboles expuestos al RPR se mantuvo ligeramente bajo en relación al Ψ_H de árboles con RC. Aun cuando la reducción del Ψ_H no afectó negativamente las actividades fisiológicas del árboles [p. ej. apertura estomática, Flore y Lakso (1989)], lo indicado por Gowing *et al.* (1990), podría no ser válido para condiciones de campo, ya que el dosel de los árboles se encuentra expuesto a continuos cambios de déficit de presión de vapor del aire, que alteran el Ψ_H , principalmente al mediodía cuando la demanda ET es mayor.

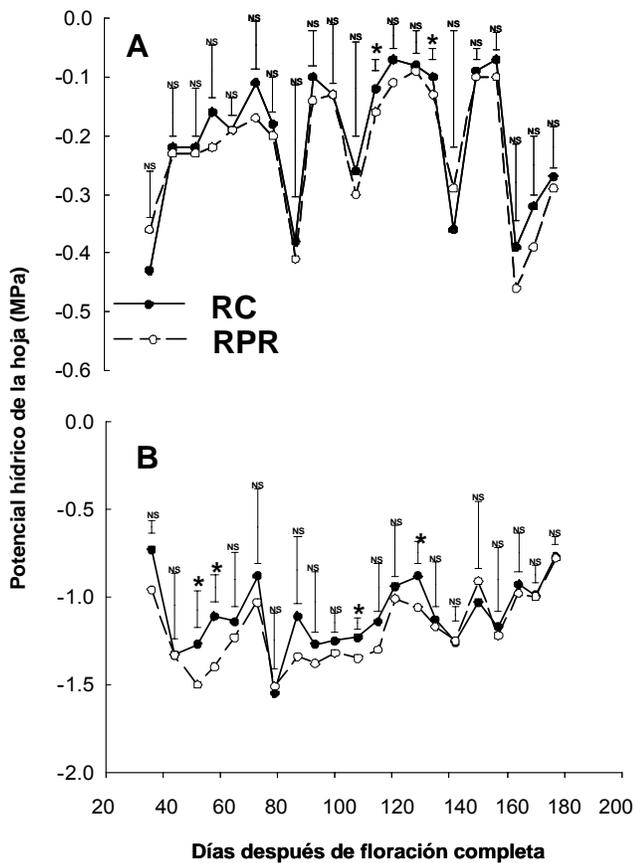


FIGURA 3. Cambios estacionales del potencial hídrico de la hoja antes del amanecer (A) y al mediodía (B) en árboles de manzano “Pacific Rose™”, regados comercialmente (RC) y bajo riego parcial de la raíz (RPR) en Palmerston North, Nueva Zelanda (2000-2001). Cada punto en RC y RPR representa el promedio de 16 y 32 observaciones, respectivamente, y las barras verticales indican la diferencia mínima significativa. NS, *; no significativo o significativo a una $P \leq 0.05$, respectivamente.

Rendimiento y componentes de rendimiento

En respuesta a que los procesos fisiológicos básicos no fueron negativamente afectados, el rendimiento, el peso medio del fruto, la sección transversal del tronco (vigor del árbol) y la eficiencia de rendimiento, fueron estadísticamente iguales en ambos tratamientos. Como se usó menos agua en árboles bajo el tratamiento RPR y el rendimiento, fue

similar a los árboles testigo, la eficiencia en el uso de ésta se mejoró significativamente en 133 % con relación al RC (Cuadro 1); además, de que el ahorro de agua fue de 0.15 megalitros por hectárea. Los efectos positivos derivados del uso del RPR son coincidentes con los encontrados en vid (du Toit *et al.*, 2003), durazno (Goldhamer *et al.*, 2002) y manzano “Pacific Rose™” (Van Hooijdonk *et al.*, 2004). Contrariamente, Kang *et al.* (2002), indicaron que el RPR incrementó el rendimiento en peral. Esto último puede estar más relacionado con un raleo irregular de la fruta al inicio del experimento, que a la aplicación del RPR.

Calidad del fruto

Aun cuando los árboles bajo RPR recibieron sólo 50 % del agua aplicada con respecto a árboles con RC, la calidad del fruto, en términos de color, firmeza, almidón, concentración de sólidos solubles totales, y materia seca del fruto, fue igual entre tratamientos (Cuadro 2). Uno de los beneficios del riego reducido, es la mejora en la calidad del fruto (Behboudian y Mills, 1997). En manzano, el mejoramiento de la calidad de la fruta depende del grado del déficit hídrico que se imponga y de la etapa fenológica del cultivo (Behboudian y Mills, 1997); por ejemplo, una reducción del Ψ_H por debajo de -1.5 MPa hasta -2.5 MPa, está asociada con un incremento en azúcares y firmeza, lo cual no ocurrió en esta investigación (Figura 3). En este estudio, se notó una tendencia a incrementar la coloración de la fruta de los árboles con RPR, lo cual es ventajoso en términos de comercialización. En particular, para este cultivar se ha indicado que el riego reducido retrasa la pigmentación del fruto (Tustin *et al.*, 1999), pero el resultado de Van Hooijdonk *et al.* (2004), es coincidente con este trabajo en el sentido de que el RPR tiende a mejorar el color externo del fruto. También, van Hooijdonk *et al.* (2004) señalan que el RPR tiende a estimular una mayor concentración de la materia seca en el mesocarpio del fruto, como ocurrió en esta investigación (Cuadro 2). Aun cuando el Ψ_H indicó la ausencia de un déficit hídrico, la acumulación de materia seca pudo deberse a un bajo contenido relativo de agua en el fruto (Mpelasoka *et al.*, 2001).

CONCLUSIONES

La aplicación del RPR no alteró la fisiología de los

CUADRO 1. Efecto del riego comercial (RC) y parcial de la raíz (RPR) en el rendimiento (Rto), peso medio del fruto (PMF), sección transversal del tronco (STT), eficiencia de rendimiento (ER), y eficiencia en el uso de agua de riego (EUA) en manzano “Pacific Rose™” en Palmerston North, Nueva Zelanda (2000-2001). Valores medios de ocho observaciones.

Tratamientos de riego	Rto (kg·árbol ⁻¹)	PMF (g)	STT (cm ²)	ER (kg·cm ⁻²)	EUA (kg·litro ⁻¹ ·H ₂ O)
RC	23.8 a ^z	212.0 a	20.3 a	1.22 a	0.06 b
RPR	24.4 a	202.1 a	19.8 a	1.20 a	0.14 a
DMS	04.5	22.2	02.7	0.24	0.03

^zPromedios de tratamiento dentro de columnas con la misma letra son iguales a una $P \leq 0.05$, de acuerdo con la diferencia mínima significativa (DMS).

CUADRO 2. Atributos de calidad de fruto a la cosecha de manzano "Pacific Rose™" regados comercialmente (RC) y bajo riego parcial de la raíz (RPR) en Palmerston North, Nueva Zelanda (2000-2001). Valores medios de 24 observaciones.

Atributos de calidad de fruto	Tratamientos de riego		
	RC	RPR	DMS
Color de la piel del fruto (ángulo hue)	24.6 a ^z	22.2 a	6.0
Firmeza (Newtons)	82.8 a	81.5 a	7.2
Índice de almidón	4.0 a	3.0 a	1.2
Concentración de sólidos solubles totales (%)	12.7 a	12.1 a	1.7
Concentración de materia seca en el fruto (mg·g ⁻¹ peso fresco)	126.1 a	130.8 a	19.2

^zPromedios de tratamiento dentro de filas con la misma letra son iguales a una $P \leq 0.05$, de acuerdo con la diferencia mínima significativa (DMS).

árboles ni el rendimiento, pero tendió a mejorar la calidad de la fruta e incrementó 133 % la eficiencia en el uso del agua. El RPR ahorró 50 % del agua para riego (0.15 megalitos por hectárea), por lo que este protocolo de riego puede ser sugerido para zonas húmedas. Es necesario que esta estrategia de ahorro de agua sea estudiada a mayor profundidad en ambientes áridos y semi-áridos, donde la demanda evapotranspiratoria es mayor y donde el agua para riego tiene un costo alto y es un factor que limita la producción de este frutal.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado, en parte, por la Secretaría de Educación Pública, Universidad Autónoma de Zacatecas (UAMVZ), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias y la Fundación Internacional para la Ciencia (Estocolmo, Suecia). Se agradece la asistencia técnica de Hatsue Nakajima y Ben Anderson y los comentarios al manuscrito del Dr Mario D. Amador Ramírez y M.C. Guillermo Galindo González, ambos investigadores del Campo Experimental Zacatecas.

LITERATURA CITADA

- ATWELL, B. J.; KRIEDEMANN, P. E.; TURNBULL, C. G. N. 1999. Plants in Action: Adaptation in Nature, Performance in Cultivation. MacMillan Education Australia, PYT, LTD. South Yarra, Australia. 664 p.
- BEHBOUDIAN, M. H.; MILLS, M. T. 1997. Deficit irrigation in deciduous orchards. Horticultural Reviews 21: 105-131.
- BOUWER, H. 2003. Integrated water management for the 21st century: problems and solutions. Food, Agriculture & Environment

- 1(1): 118-127.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. 2000. Elements of the nature and properties of Soil. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, USA. 559 p.
- DAVIES, W. J.; WILKINSON, S.; LOVEYS, B. 2002. Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of the mechanism to increase water use efficiency in agriculture. New Phytologist 153(3): 449-460.
- DRY, P. R.; LOVEYS, B. R. 1999. Grapevine shoot growth and stomatal conductance are reduced when part of the root system is dried. Vitis 38(4): 151-156.
- DU TOIT, G.; DRY, P.; LOVEYS, B. 2003. A preliminary investigation on partial rootzone drying (PRD) effects on grapevine performance, nitrogen assimilation and berry composition. South African Journal of Enology and Viticulture 24(2): 43-54.
- FLORE, J. A.; LAKSO, A. N. 1989. Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. Horticultural Reviews 11: 111-157.
- GOLDHAMER, D. A.; SALINAS, M.; CRISOSTO, C.; DAY, K. R.; SOLER, M.; MORIANA, A. 2002. Effects of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on late harvest peach tree performance. Acta Horticulturae 592: 343-350.
- GOWING, D. J. G.; DAVIES, W. J.; JONES, H. G. 1990. A positive root-sourced as an indicator of soil drying in apple, *Malus x domestica* Borkh. Journal of Experimental Botany 41(233): 1535-1540.
- GREEN, S. R.; CLOTHIER, B. E. 1999. Roots water dynamics of water uptake by a mature apple tree. Plant and Soil 206(1): 61-77.
- KANG, S.; HU, X.; GOODWIN, I.; JERIE, P. 2002. Soil water distribution, water use, and yield response to partial root zone drying under shallow groundwater table condition in a pear orchard. Scientia Horticulturae 92: 277-291.
- MPELASOKA, B. S.; BEHBOUDIAN, M. H.; MILLS, M. T. 2001. Water relations, photosynthesis, growth, yield, and fruit size of 'Braeburn' apple: response to deficit irrigation and to crop load. Journal of Horticultural Science & Biotechnology 76(2): 150-156.
- REID, M. S.; PADFIELD, C. A. S.; WATKINS, C. B.; HARMAN, J. E. 1982. Starch iodine pattern as a maturity index for Granny Smith apples. I. Comparison with flesh firmness and soluble solids content. New Zealand Journal of Agricultural Research 25: 229-237.
- STOLL, M.; LOVEYS, B.; DRY, P. 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. Journal of Experimental Botany 51(350): 1627-1634.
- TUSTIN, S.; HUGHES, J.; BROOKFIELD, P. 1999. Pacific Rose. Technical Bulletin. ENZA New Zealand Apple and Pear Marketing Board. 11 p.
- VAN HOOIJDONK, B. M.; DORJI, K.; BEHBOUDIAN, M. H. 2004. Responses of "Pacific Rose™" apple to partial rootzone drying and deficit irrigation. European Journal of Horticultural Science 69(3): 104-110.
- WESTWOOD, M. N. 1993. Temperate Zone Pomology - Physiology and Culture. Timber Press, Portland, Oregon, USA. 535 p.