

EFFECTO DE CUATRO NIVELES DE APLICACIÓN DE AGUA EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DE UN HUERTO DE MANZANO (*Malus domestica* BORKH.) 'FUJI' BAJO RIEGO POR GOTEO

EFFECT OF FOUR LEVELS OF WATER APPLICATION ON THE YIELD AND QUALITY OF A 'FUJI' APPLE ORCHARD (*Malus domestica* BORKH.) UNDER DRIP IRRIGATION

Celerino Quezada¹, Elisa Solís¹, Alejandro Venegas², Manuel Faúndez²

¹ Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Vicente Méndez 595, Chillán, Chile. Autor para correspondencia E-mail: cequezad@udec.cl

² Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Vicente Méndez 595, Chillán, Chile.

RESUMEN

El agua es uno de los factores más limitantes en la agricultura por lo que es necesario determinar los requerimientos hídricos de los frutales para mejorar la eficiencia de uso del agua (EUA). El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de diferentes niveles de aplicación de agua en rendimiento y calidad en manzano cv. Fuji en la zona centro sur de Chile, durante la temporada 2007-2008, en un suelo Typic Melanoxerands bajo riego por goteo. El diseño experimental fue de bloques al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los niveles de agua aplicados fueron: 50, 67, 100, y 133% de la evapotranspiración del cultivo (ETc). Los parámetros de rendimiento, calidad y fisiológicos no presentaron diferencias significativas con los niveles de agua aplicados, pero la eficiencia del uso de agua disminuyó de 8,39 a 4,57 kg m⁻³ con el aumento de la aplicación de agua. La tendencia a mayores rendimientos sin diferencias significativas en los tratamientos con mayor aplicación de agua, indicaría una posible respuesta del frutal que no es expresada adecuadamente, debido a la variabilidad entre árboles, distribución espacial de raíces y relaciones suelo-agua. Estos resultados destacan la importancia de continuar con este tipo de estudios, para optimizar el manejo del riego por goteo del manzano en suelos con alta capacidad de retención de agua.

Palabras clave: evapotranspiración del cultivo, potencial matricial, contenido volumétrico de agua, conductancia estomática.

ABSTRACT

Water is one of the most limiting factors in agriculture, so it is necessary to determine water requirements of fruit trees in order to improve water use efficiency (WUE). The aim of this study was to determine WUE in a 'Fuji' apple orchard located in the south-central zone of Chile during the 2007-2008 growing season. The experiment was conducted in a randomized complete block design with four treatments and three replicates. The levels of water application were 50, 67, 100 and 133% of crop evapotranspiration (ETc), in a Typic Melanoxerands soil under drip irrigation. The yield, quality and physiological parameters showed no significant differences with the levels of water applied. However, WUE decreased from 8.39 to 4.57 kg m⁻³ with the increase in water application. The tendency to higher yields with no significant differences in the treatments with higher application of water may indicate that the response of the fruit tree is not adequately expressed because of the

variability among trees, in root spatial distribution and soil-water relations. These results highlight the importance of conducting similar studies to optimize the management of drip irrigation of apple trees in soils with high water holding capacity.

Key words: crop evapotranspiration, soil matric potential, volumetric water content, stomatic conductance.

INTRODUCCIÓN

El manzano (*Malus domestica* Borkh.) es una de las especies frutales más importantes en Chile, con una superficie plantada de 34.972 hectáreas, distribuidas desde la Región Metropolitana hasta la IX Región de la Araucanía, concentrándose el 80% de la producción en la VI y VII Región, con rendimientos promedios de 41 t ha⁻¹ para manzanos rojos y 47 t ha⁻¹ para manzanos verdes. Los métodos de riego más usados son: surcos (57,1%), microaspersión (28,4%) y goteo 8,8%). La VIII Región tiene una superficie plantada de 1498 hectáreas, de las cuales un 64,75% se riega por surcos, un 19,0% por goteo, un 14,2% por microaspersión, 1,9% por tendido, y el porcentaje restante corresponde a métodos gravitacionales (INE, 2007). Sin embargo, los mejores resultados en cuanto a eficiencia de aplicación y uso del agua se han obtenido con riego por goteo o microaspersión (Tanasescu y Paltineanu, 2004; Iancu et al., 2011).

El recurso hídrico es el factor más limitante en los cultivos intensivos (Scirselj et al., 2007), situación de gran importancia ya que el aumento en la productividad agrícola es dependiente de la disponibilidad de agua y de un aumento en la EUA (Vita et al., 2004). Además, el cambio climático asociado a aumentos de temperatura y disminución de las precipitaciones, ha producido una disminución de la disponibilidad de agua en muchas áreas del mundo (Farré y Faci, 2009). Por eso, la determinación de la EUA es un factor clave para la adaptación y productividad de los cultivos (Hsiao and Xu, 2000), y la gestión del agua de riego debe realizarse en forma más eficiente, con el objetivo de ahorrar agua y maximizar la productividad (Ferreles y Soriano, 2007).

Se han realizado numerosas investigaciones para determinar los efectos del volumen de agua aplicado, intervalos de riego y consumo de agua sobre el rendimiento y calidad de la fruta (Gunduz et al., 2011), así como de la aplicación de agua bajo los requerimientos de la evapotranspiración (Ferreles y Soriano, 2007) y su incidencia sobre el desarrollo de la planta, productividad de frutales y variaciones en el contenido de agua del suelo (Mpelasoka et al., 2000; 2001). En manzano se requieren nuevas estrategias de riego para reducir el consumo del agua y los efectos negativos de las prácticas agrícolas tradicionales (Leib et al., 2006), especialmente en relación a la disponibilidad del agua en el suelo y evaluar parámetros hídricos en la planta, tamaño

del fruto y atributos de calidad (Mpelasoka et al., 2001).

Una de las estrategias para mejorar la agricultura de riego es la optimización de la EUA, con el objetivo de aumentar la producción por unidad de agua aplicada, en aspectos de manejo agronómico, reduciendo las pérdidas de agua por mala aplicación (Howell, 2001) y desarrollar nuevas técnicas de riego para economizar agua en sistemas de producción sustentables (Zegbe et al., 2007). En la actualidad se dispone de diferentes métodos de riego localizados, pero es necesario evaluar los efectos de diferentes regímenes de riego sobre el contenido de agua del suelo, parámetros fisiológicos de la planta, rendimientos y calidad de la fruta en huertos frutales regados por goteo (Gunduz et al., 2011). Al respecto, Holzappel et al. (2011) informaron que no se dispone de información suficiente sobre el nivel mínimo de restricción de agua que los huertos pueden soportar sin afectar el rendimiento y calidad de la fruta. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes niveles de aplicación de agua en parámetros de rendimiento, fisiológicos y de calidad, y en la eficiencia de uso del agua, en manzano cv. 'Fuji' regado por goteo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

La investigación se realizó en el Fundo Chacayal (36°32' lat. Sur; 71°50' long. Oeste, 195 m.s.n.m.), ubicado en el sector de Cato, a 25 km de Chillán, comuna de Chillán, Provincia de Ñuble, Región del Bío-Bío, durante la temporada 2007-2008. Se utilizó un huerto de manzanos cv. Fuji plantados el año 2001, sobre portainjerto MM106, marco de plantación 4 x 2 m, con polinizante 'Granny Smith'.

Clima

Corresponde al agroclima Chillán, con una precipitación media anual de 1300 mm, concentrada entre mayo y agosto, y una evapotranspiración potencial de 1200 mm. La temperatura media anual es de 22,8°C en verano y 5,3°C en invierno, siendo julio el mes más frío. La suma térmica base 5°C es 3100°C día, las horas frío del orden de 1400 horas y el período libre de heladas es de 5 a 6 meses. El largo de la estación de crecimiento es de 8 a 9 meses (De! Pozo y Del Canto, 1999).

Suelo

Corresponde a la serie Arrayán (Typic Melanoxerands), derivado de cenizas volcánicas modernas de textura franco a franco arenosa, topografía plana a suavemente ondulada, con buen drenaje, depositados sobre un substrato aluvial de ripio y bolón de matriz franco arenoso. Las características físico-hídricas se presentan en la Tabla 1.

Riego

Se usó un sistema de riego por goteo, con dos laterales PE 16 mm por hilera, seis goteros por planta, la distancia entre emisores de 1 m y caudal de 4 L hr⁻¹. La evapotranspiración del cultivo (ETc) se estimó según valores de evapotranspiración de referencia (ETo) entregada por una estación meteorológica automática ubicada en el predio, considerando el coeficiente del cultivo (1,05-1,25) (Allen et al., 1998). El marco de plantación es 4 x 2 m y el porcentaje de área sombreada del 39%.

Diseño experimental

El ensayo se realizó en un huerto establecido; se dispuso en un diseño de bloques completos al azar para minimizar variabilidad de suelos y árboles frutales, con 4 tratamientos hídricos y tres repeticiones, cada una conformada por 3 árboles, con bordes de 3 árboles entre repeticiones del mismo bloque. Los tratamientos hídricos aplicados fueron establecidos como un porcentaje de la ETc: T1: 50% con tres emisores por planta y caudal total de 12 L h⁻¹; T2: 67% con cuatro emisores y caudal total de 16 L h⁻¹; T3: 100% con seis emisores y caudal total 24 L h⁻¹, y T4: 133% con ocho emisores y caudal total de 32 L h⁻¹.

En esta investigación se priorizó la variación de caudal aplicado en base al número de goteros, sellando e instalando goteros del mismo caudal en similar disposición a la existente en el huerto, ya que por asimetría en la distribución de raíces y crecimiento de raíces fuera de la zona del bulbo húmedo, es más incierto evaluar el volumen de suelo mojado (Wang et al., 2006; Sokalska et al., 2009)

Tabla 1. Características físico-hídricas del suelo Typic Melanoxerands (Serie Arrayán) en el sitio experimental.

Table 1. Physical hydric characteristics of Typic Melanoxerands soil (Arrayán Serie) in the experimental site.

Profundidad	D _{ap}	CC	PMP	HA	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural ¹
cm	g cm ⁻³	% bps	% bps	% bps	%	%	%	
0 - 10	1,09	44,63	25,75	18,88	41,14	43,49	15,37	Franco
11 - 22	0,98	44,87	26,65	18,22	44,51	40,25	15,24	Franco
23 - 52	1,05	45,08	27,12	17,92	51,40	39,33	9,27	Franco arenosa

D_{ap}: densidad aparente; CC: capacidad de campo; PMP: punto de marchitez permanente; HA: humedad aprovechable; ¹ Sistema U.S.D.A. Laboratorio de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción.

Estado hídrico del suelo

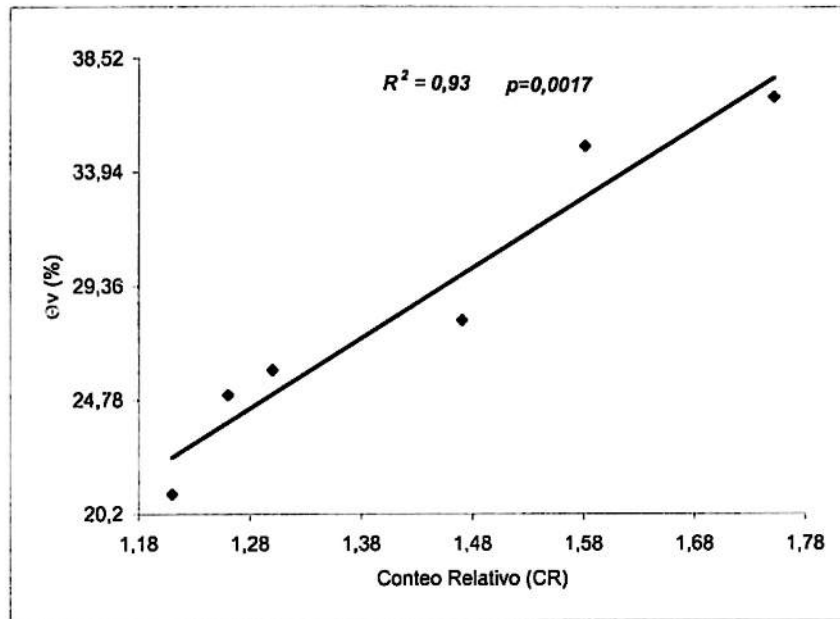
El contenido volumétrico de agua (θ_v) se midió cada 15 días con una sonda de neutrones ²⁴¹Am-⁹Be (CPN, 503-DR Hydroprobe, Campbell Pacific Nuclear International Inc., California, USA), a profundidades de 20, 30, 40 y 50 cm, en tubos de acceso de aluminio de 2 pulgadas, instalados en el suelo sobre la hilera de plantación. Las mediciones de termalización de neutrones fueron expresadas como conteo relativo (CR), conteo de neutrones en el suelo dividido por el conteo estándar del equipo y transformadas a θ_v mediante una curva de calibración realizada durante el período del ensayo. La ecuación de regresión lineal obtenida fue: $\theta_v = 28,31$

CR - 11,76 ($R^2 = 0,93$) donde: θ_v = contenido volumétrico de agua (%); CR = conteo relativo (Fig. 1). El suelo es homogéneo de textura franco a franco arenosa; se realizó una calibración usando los datos de todo el perfil de 50 cm, según lo establecido por Köksal et al. (2011), ya que con esta metodología se eleva la precisión al aumentar el R^2 . Los distintos niveles de humedad se obtuvieron por la variación del contenido de agua del suelo entre los meses de octubre a marzo

El potencial matricial del suelo (Ψ_m) se midió cada 15 días, con un sensor de matriz granular Watermark (Irrometer Company Inc., Riverside, California, USA), ubicado sobre la hilera de plantación a una profundidad de 30 cm.

Fig. 1. Curva de calibración de la sonda de neutrones Hydroprobe CPN 503 a una profundidad 40 cm en un suelo Typic Melanoxerands ($\theta_v = 28,31\text{CR}-11,76$)

Fig. 1. Calibration curve of neutron probe Hydroprobe CPN 503 at a depth of 40 cm in a Typic Melanoxerands soil ($\theta_v = 28,31\text{CR}-11,76$)



Estado hídrico de la planta

La conductancia estomática y la diferencia de temperatura canopia-aire se midió cada 15 días con un porómetro de difusión (AP-4 Delta T Devices, Cambridge, UK). Las mediciones se realizaron entre las 12:00 y 14:00 h en hojas sanas, verdes y expuesta al sol, a tres alturas del árbol: alta, media y baja.

Parámetros de rendimiento.

A la cosecha (25 de marzo) se evaluó el número de frutos y peso total de frutos por árbol. Además, se midió el diámetro ecuatorial con un pie de metro digital 0-150 mm (Ganz Gehartet, Caliper, Helios, Germany), y el peso del fruto a treinta frutos por árbol, al azar, en una balanza digital 0-1800 g (Mettler, BB2440, DeltaRange, Greifensee, Suiza)

Parámetros de calidad

La presión de pulpa se midió con un penetrómetro 3-27 lb (Effeggi, FT 327, Italia) de émbolo 11 mm, previa remoción de la cutícula con un pelador de fruta común. Para determinar los sólidos solubles, se removieron dos trozos de pulpa de lados opuestos del fruto, se prensaron y el jugo se homogenizó determinando los sólidos solubles ($^{\circ}\text{Brix}$) con un refractómetro manual termo-compensado 0-32 $^{\circ}$ Brix (Atago N-4e, Atago Co.

Ltd., Atago, Japón). En relación al índice de yodo, a las muestras de manzanas se les realizó un corte transversal y a una mitad se le asperjó solución de yodo (preparada con I_2 concentración $8,66 \times 10^{-3}$ molar y KI 0,053 M en un litro de agua), se dejó actuar por un minuto para alcanzar la tinción con el almidón del fruto, y luego fue medido con escala 1 (100% tinción) a 8 (0% tinción), según índice yodo-almidón en manzano de la Universidad de Cornell, EE.UU. (Blanpied y Silsby, 1992).

Eficiencia de uso del agua

La eficiencia de uso del agua (EUA) se determinó mediante la relación entre kg de manzanas y m^3 de agua aplicada. Además, se calculó la relación entre rendimiento y agua aplicada, para determinar el incremento del producto con diferentes niveles de agua aplicada, y determinar el tratamiento donde el rendimiento alcanza su valor máximo, y a partir del cual el agua no es usada en evapotranspiración (Feres y Soriano, 2007)

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron normalizados con la expresión $(x + 0,5)^{0,5}$ y sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA) con un intervalo de confianza del 95%. Para la comparación de medias entre tratamientos se utilizó el test de Duncan al 0,05 de nivel de significancia (Infostat, 2004). Para los valores no paramétricos, como índice de almi-

dón, se realizó un ANDEVA con la prueba de Friedman ($p \leq 0,05$) (Infostat, 2004)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Volumen de agua aplicado

El volumen de agua de riego aplicado durante la temporada comprendida entre el 22 de octubre del 2007 (inicio del riego) y 24 de marzo 2008 fue de 4345 m³ ha⁻¹ para T1, 5823 m³ ha⁻¹ para T2, 8691 m³ ha⁻¹ para T3, y 11559 m³ ha⁻¹ para T4. El aporte de agua por lluvias durante la temporada fue de 271 m³ ha⁻¹ (27,1 mm) (Tabla 2).

El volumen de agua aplicado aumentó con el incremento del nivel de agua aplicada llegando a 11.559 m³ ha⁻¹ en el tratamiento con el 133% ETc,

por lo que los contenidos de agua volumétricos estuvieron sobre capacidad de campo, pero sin afectar la macroporosidad del suelo. Al respecto, Leib et al. (2006) en manzanos 'Fuji' determinaron un consumo de agua de 7067 m³ ha⁻¹ con una aplicación del 60 a 70% de la evapotranspiración del cultivo en un suelo franco limoso (Xerollic Camborthid) con riego por microaspersión, lo que está más cercano a tratamiento similar de este ensayo. Sin embargo, es posible que las variaciones de agua aplicada se deban a que el Kc usado sobreestime el consumo de agua en frutales, por diferencias en flujos advectivos, condiciones de capa límite y regulación estomática (Dragoni et al., 2004). Además, la cantidad de agua aplicada puede estar afectada por la uniformidad de riego (Feres y Soriano, 2007).

Tabla 2. Volumen de agua aplicado (m³ ha⁻¹) con diferentes tratamientos hídricos en manzanos 'Fuji' en un suelo Typic Melanoxerands bajo riego por goteo.

Table 2. Water volume applied (m³ ha⁻¹) with different water treatments on 'Fuji' apple trees in a Typic Melanoxerands soil under drip irrigation.

Tratamientos	Agua aplicada	Precipitación ¹	Total
	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹
T1 50 % Etc	4.345	271	4.616
T2 67 % ETc	5.823	271	6.094
T3 100 % ETc	8.691	271	8.962
T4 133 % ETc	11.559	271	11.830

¹ Fuente: Universidad de Concepción. 2008. Facultad de Ingeniería Agrícola, Departamento. Recursos Hídricos. Boletín Agrometeorológico 2007-2008. Chillán, Chile.

Evolución del estado hídrico del suelo

La evolución del potencial matricial del suelo (Ψ_m) de los diferentes tratamientos hídricos se presenta en la Fig. 2, observándose que los valores obtenidos fluctúan entre -5 y -25 kPa.

Los tratamientos con 50%, 67% y 100% de ETc mantienen Ψ_m similares durante la temporada, entre -15 y -25 kPa. Al respecto, Requena et al. (2011) determinaron que en suelo franco limoso la tensión de agua óptima para el crecimiento del manzano cv. 'Cripp's Pink' estuvo comprendida entre -8 y -15 kPa. Esto significa que los tratamientos T1 y T2, a pesar de los bajos niveles de reposición no presentaron déficit hídrico, debido a la alta capacidad de retención de agua del suelo y alta frecuencia de riego. Esto concuerda con los resultados de Leib et al. (2006), que al comparar riego normal con riego deficitario en manzanos 'Fuji' no obtuvieron diferencias significativas en el potencial de agua, con valores entre 20-25 kPa a la profundidad de 45 cm.

La evolución del contenido volumétrico de agua a una profundidad de 40 cm se presenta en

la Fig. 3, donde se observa que los mayores niveles de humedad en el suelo se obtienen en el tratamiento T4, superando la capacidad de campo (CC), ocasionando problemas de exceso de humedad pero sin llegar a comprometer el intercambio gaseoso, ya que la macroporosidad del suelo se mantuvo durante gran parte de la temporada sobre 10%, al comparar valores de porosidad total y contenido de agua volumétrico. Los tratamientos T2 y T3 mantuvieron contenidos volumétricos de agua cercanos a CC, en cambio T1 presentó los menores valores entre CC y umbral de riego (UR), debido al bajo nivel de reposición hídrica.

En general, los contenidos de agua en el suelo fueron muy similares entre los tratamientos hídricos, debido a la una alta capacidad de retención de agua del suelo derivado de cenizas volcánicas (Tabla 1). Estos datos concuerdan con resultados obtenidos por Leib et al. (2006) en manzanos 'Fuji' con riegos deficitarios, donde los niveles de agua en el suelo se mantuvieron cercanos a capacidad de campo durante varias temporadas de estudio.

Fig. 2. Potencial matricial del suelo (-kPa) a profundidad de 30 cm para cuatro niveles de aplicación de agua en manzanos 'Fuji' en un suelo Typic Melanoxerands bajo riego por goteo.

Fig. 2. Soil matric potential (-kPa) at a depth of 30 cm for four levels of water application on 'Fuji' apple trees in a Typic Melanoxerands soil under drip irrigation.

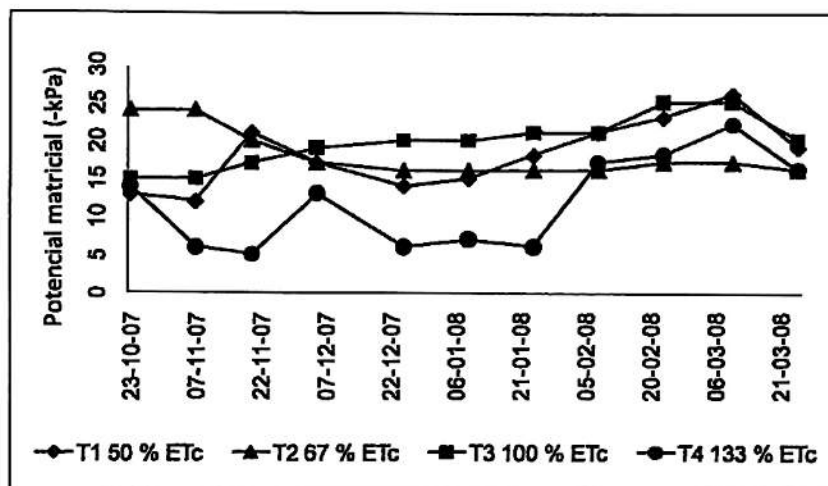
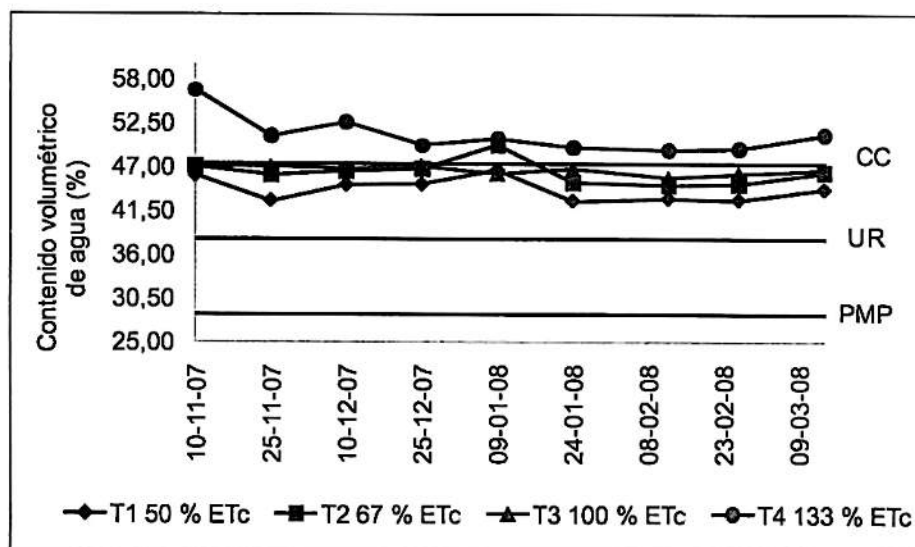


Fig. 3. Contenido volumétrico de agua a 40 cm de profundidad para cuatro niveles de aplicación de agua en manzanos 'Fuji' bajo riego por goteo en un suelo Typic Melanoxerands.

CC: capacidad de campo; UR: umbral de riego; PMP: punto de marchitez permanente.

Fig. 3. Volumetric water content at a depth of 40 cm for four levels of water application on 'Fuji' apple trees in a Typic Melanoxerands soil under drip irrigation.



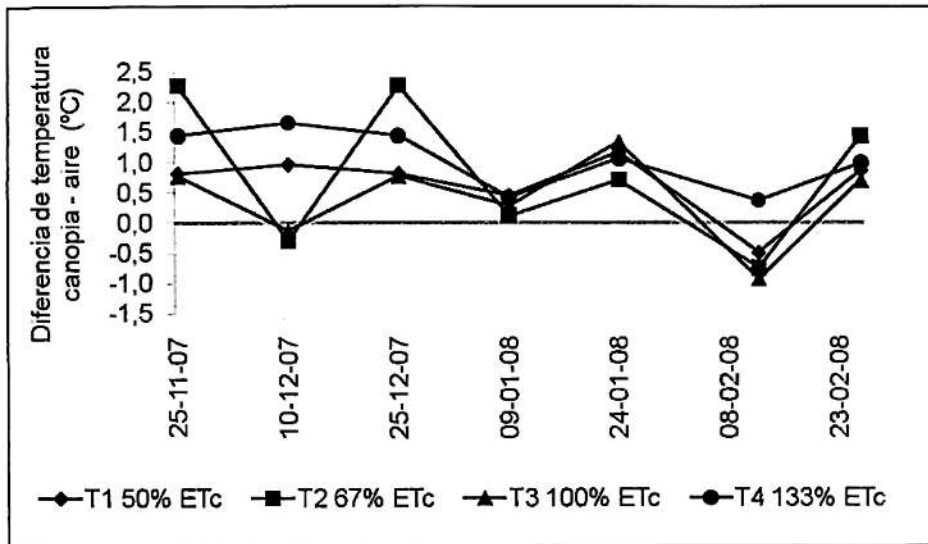
Evolución del estado hídrico de la planta

La diferencia de temperatura canopia-aire en todos los tratamientos hídricos fue cercano a uno, lo que indica un leve grado de estrés hídrico temporal, presentando los mayores valores en el mes de diciembre por los aumentos en la temperatura ambiente (Fig. 4). Al respecto, López et al. (2009) reportaron que una planta transpira en forma óptima cuando la temperatura foliar es de +1 a -4°C

inferior a la temperatura ambiente. Las plantas de los tratamientos T1 y T2 con menor aplicación de agua presentan valores más altos, lo que concuerda con Muñoz (2005) quien determinó que tratamientos con menor volumen de agua de riego presentan valores mayores de diferencia de temperatura canopia-aire. Por otra parte, las plantas del T4 muestran valores altos, por un exceso de humedad en el perfil, lo que indujo a un cierre estomático produciendo un alza en la temperatura foliar.

Fig. 4. Diferencia de temperatura canopia-aire (°C) para cuatro niveles de aplicación de agua en manzanos 'Fuji' bajo riego por goteo en un suelo Typic Melanoxerands.

Fig. 4. Canopy-air temperature difference (°C) for four levels of water application on 'Fuji' apple trees in a Typic Melanoxerands soil under drip irrigation.

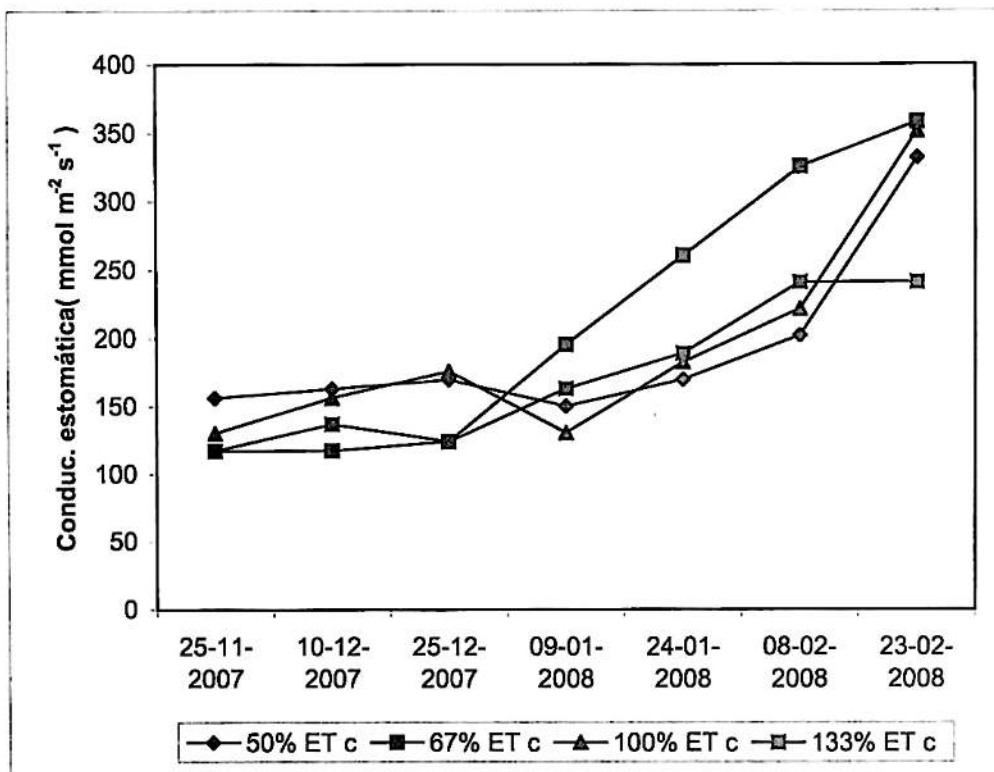


La conductancia estomática (Fig. 5) durante la temporada 2007-2008 no presentó diferencias significativas ($P > 0,05$) con los diferentes niveles de agua aplicada, lo que concuerda con resultados obtenidos por Ferreyra et al. (2002) y Zegbe et al. (2007), pero aumentó en los meses de enero y fe-

brero, especialmente el tratamiento con 67% ETC, lo que puede estar asociado con un mayor déficit de presión de vapor. Esto indicaría que la menor reposición hídrica a la que fueron sometidos las plantas de los tratamientos T1 y T2, no alcanzó a actuar sobre la conductancia estomática.

Fig. 5. Conductancia estomática ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para cuatro niveles de aplicación de agua en manzanos 'Fuji' bajo riego por goteo en un suelo Typic Melanoxerands.

Fig. 5. Stomatal conductance ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) for four levels of water application on 'Fuji' apple trees in a Typic Melanoxerands soil under drip irrigation.



Parámetros de rendimiento

El diámetro ecuatorial no presentó diferencias significativas entre los diferentes tratamientos hídricos (Tabla 3). Los diámetros de los frutos aumentaron con el incremento del nivel de agua aplicado hasta el 100% Etc. Al respecto, Mpelasoka et al. (2001) concluyeron que en manzanos 'Braeburn' se obtienen mayores diámetros con niveles de humedad más cercanos a la capacidad de campo que con déficit hídrico. Similares resultados obtuvieron Bonany y Camps (1998), Iglesias et al. (1999), Lakatos (2004), y Zegbe et al. (2007).

El peso de fruto no presentó diferencias signi-

ficativas (Tabla 3), lo que coincide con lo señalado por Ferreyra et al. (2002), quienes expresan que el estrés hídrico en los distintos estados de desarrollo del fruto no afectó estadísticamente el peso de fruto. Sin embargo, la reducción de rendimiento fue de 31,64% para T1 (50% ETC) y de 16,07% para T2 (67%ETC) en comparación a T3 (100%ETC). En relación a la carga frutal, no se obtuvieron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos hídricos. Al respecto, Lakatos (2004) no encontró una relación entre agua aplicada y carga frutal en manzanos, lo que concuerda con trabajos de déficit hídricos realizados en manzano por Parra-Quezada et al. (2008), y Zegbe et al. (2007).

Tabla 3. Parámetros de rendimiento para cuatro niveles de aplicación de agua en manzanos 'Fuji' bajo riego por goteo en un suelo Typic Melanoxerands.

Table 3. Yield parameters for four levels of water application on 'Fuji' apple trees in a Typic Melanoxerands soil under drip irrigation.

Tratamientos	Rendimiento	Diámetro ecuatorial	Peso frutos	Carga frutal
	kg árbol ⁻¹	mm	g	frutos árbol ⁻¹
T1 50 % ETC	29,16 a	72,4 b	179,35 c	184 d
T2 67 % ETC	35,81 a	75,1 b	189,77 c	190 d
T3 100 % ETC	42,66 a	78,2 b	207,08 c	220 d
T4 133 % ETC	42,28 a	75,8 b	199,01 c	213 d
CV,%	20,51	2,47	7,39	21,19

Letras iguales en la columna indican que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0,05$).

Llama la atención que no presentaran diferencias significativas en rendimientos con diferentes niveles de agua aplicada, debido a que es un ensayo establecido en un huerto en producción, lo que se refleja en el alto coeficiente de variación (20,51%). Además, estos resultados pueden estar afectados por la alta variabilidad de los árboles, la alta capacidad de retención de agua del suelo ándico, y la distribución espacial de raíces. Esto concuerda con Leib et al. (2006) quienes en manzanos 'Fuji' establecido en un suelo profundo con alta capacidad de retención de agua no encontraron diferencias significativas en rendimiento y tamaño del fruto, al comparar riego a capacidad de campo con riego deficitario y secado parcial de raíces. Por su parte, García Petillo et al. (2011) no obtuvieron diferencias significativas en número de frutos y tamaños de frutos en manzano cv. Royal Gala al aplicar niveles de riego de 33, 66 y 100% ETC. Similares resultados fueron obtenido en paltos 'Hass' por Holzapfel et al. (2011) al no encontrar diferencias significativas en producción y calidad de la fruta, aplicando niveles de 25, 50, 75 y 100% del volumen de agua requerido. Esta tendencia a mayores rendimientos sin diferencias signifi-

cas en tratamientos con mayor aplicación de agua, indica una respuesta del árbol que no es adecuadamente expresada debido a la variabilidad entre árboles, distribución espacial de raíces, patrones y relaciones suelo-agua.

Parámetros de calidad

Los diferentes niveles de aplicación de agua no tuvieron efectos significativos sobre la presión de pulpa (Tabla 4). Estos resultados coinciden con Parra-Quezada et al. (2008) quienes determinaron que la presión de pulpa no se ve afectada por diferentes niveles de reposición hídrica en manzanos. Sin embargo, Bonany y Camps (1998) y Mpelasoka et al. (2001) concluyeron que en manzanos los tratamientos con déficit hídrico presentan presiones de pulpa mayores. Según Yuri et al. (2009) los valores de presión de pulpa están dentro de los requisitos de madurez para manzanos 'Fuji' en Chile, y deben fluctuar en un rango de 15 a 18 lb. En esta investigación sólo el T1 (50% ETC) obtuvo una presión de pulpa mayor con 8,73 kg (19,23 lb)

La concentración de sólidos solubles no mues-

tran diferencias significativas y concuerdan con los resultados obtenidos por Zegbe et al. (2007). Los valores de sólidos solubles para todos los tratamientos están dentro de los requisitos de madurez para manzanos 'Fuji' en Chile, los cuales deben ser como mínimo 13° Brix (Yuri et al., 2009).

Los tratamientos hídricos no incidieron significativamente en la tinción de yodo-almidón (Tabla 4). Esto concuerda con lo obtenido por

Lakatos (2004), Zegbe et al. (2007), y Parra-Quezada et al. (2008), quienes no encontraron diferencias significativas en la tinción de yodo en manzanos a diferentes niveles de aplicación de agua. Los valores obtenidos con la tinción de yodo indican que las muestras de manzano estaban con la madurez apropiada para la cosecha, con valores entre 5 y 6 en la escala de yodo (Blanpied y Silsby, 1992).

Tabla 4. Parámetros de calidad para cuatro niveles de aplicación de agua en manzanos 'Fuji' bajo riego por goteo en un suelo Typic Melanoxerands.

Table 4. Quality parameters for four levels of water application on 'Fuji' apple trees in a Typic Melanoxerands soil under drip irrigation.

Tratamientos	Presión de pulpa		Sólidos solubles °Brix	Índice de yodo
	kg	lb		
T1 50% ETc	8,730 a	19,23 a	14,25 b	5 c
T2 67% ETc	8,154 a	17,96 a	13,51 b	6 c
T3 100% ETc	8,199 a	18,06 a	13,70 b	5 c
T4 133% ETc	8,163 a	17,98 a	13,35 b	5 c

Letras iguales en la columna indican que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0,05$).

Eficiencia de uso de agua

La EUA representa un nivel dado de biomasa por unidad de agua consumida por el cultivo (Hatfield et al., 2001). La EUA obtenida para los diferentes tratamientos hídricos muestra que los valores de EUA disminuyen con el aumento del volumen de agua aplicada, lo que concuerda con Quezada et al. (2011), observándose que los trata-

mientos T1 y T2 son los que obtuvieron mayor EUA con 8,39 kg m⁻³ y 7,69 kg m⁻³, respectivamente (Tabla 5). El T4 con la mayor reposición hídrica (133% ETc) obtuvo la menor EUA con 4,57 kg m⁻³ y un valor negativo del incremento marginal de rendimiento y agua aplicada (-0,16 kg m⁻³) debido a que se llega a punto de máximo consumo de agua por parte del frutal.

Tabla 5. Eficiencia de uso del agua (EUA) para cuatro niveles de aplicación de agua en manzanos 'Fuji' bajo riego por goteo en un suelo Typic Melanoxerands.

Table 5. Water use efficiency (EUA) for four levels of water application on 'Fuji' apple trees in a Typic Melanoxerands soil under drip irrigation.

Tratamientos	Agua aplicada m ³ ha ⁻¹	Rendimiento kg ha ⁻¹	EUA kg m ⁻³	Δ Rendimiento/Δ Agua kg m ⁻³
T1 50% ETc	4345	36.451 a	8,39 b	-
T2 67% ETc	5823	44.756 a	7,69 b	5,62
T3 100% ETc	8691	53.326 a	6,14 b	2,99
T4 133% ETc	11.559	52.854 a	4,57 b	- 0,16

Letras iguales indican que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0,05$).

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Zegbe et al. (2007) en manzano, donde los tratamientos con menor volumen de agua aplicada fueron más eficientes en el uso del agua, no afectando significativamente el rendimiento. Al analizar la relación entre rendimiento y agua se de-

termina que el T2 presentó el mayor incremento (Δ Rendimiento / Δ Agua), lo cual sería de gran utilidad para mejorar la gestión del recurso hídrico y enfrentar los desafíos de escasez de agua en la agricultura, por efecto del cambio climático (Quezada et al., 2011)

CONCLUSIONES

Los parámetros fisiológicos y de calidad no presentaron diferencias significativas con los diferentes niveles de agua aplicada, pero la eficiencia del uso de agua disminuyó de 8,39 a 4,57 kg m⁻³ con el aumento de la aplicación de agua. La tendencia a mayores rendimientos sin diferencias significativas en los tratamientos con mayor aplicación de agua, indicaría que la respuesta del frutal no es expresada adecuadamente, debido a la variabilidad entre árboles, distribución espacial de raíces y relaciones suelo-agua. Estos resultados destacan la importancia de continuar con este tipo de estudios para optimizar el manejo de agua en frutales con riego por goteo en suelos con alta capacidad de retención.

BIBLIOGRAFIA

- Allen, R.G., D. Pererira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines computing water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy.
- Blanpied, G.D., and K.J. Silsby. 1992. Predicting harvest date windows for apples. Cornell Cooperative Extension. Available at <http://ecommons.cornell.edu/bitstream> [Accessed: 10 mayo 2010].
- Bonany, J., and F. Camps. 1998. Effects of different irrigation levels on apple fruit quality. *Acta Hort.* 466:47-5
- Del Pozo, A., y P. del Canto. 1999. Áreas agroclimáticas y sistemas productivos en la VII y VIII regiones. INIA Quilamapu, Chillán, Chile.
- Dragoni, D., A.N. Lakso, and R.M. Piccioni. 2004. Transpiration of an apple orchard in a cool humid climate: measurement and modeling. *Acta Hort.* 664:175-180
- Farré, I., and J.M. Faci. 2009. Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a mediterranean environment. *Agric. Water Manage.* 96:383-394.
- Fereres, E., and M.A. Soriano. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *J. Exp. Bot.* 58:147-159.
- Ferreyra, R., G. Sellés, y G. Lemus. 2002. Efecto del estrés hídrico durante la fase II de crecimiento del fruto del duraznero cv. Kakamas en el rendimiento y estado hídrico de las plantas. *Agric. Téc. (Chile)* 62:565-573.
- García-Petillo, M., L. Puppo, P. Morales, and R. Hayashi. 2011. Young apple trees response to water stress - Early results. *Acta Hort.* 889:273-280.
- Gunduz, M., N. Korkmaz, S. Asik, H.B. Unal, and M. Avci. 2011. Effect of various irrigation regimes on soil water balance, yield, and fruit quality of drip-irrigated peach trees. *J. Irrig. Drain. Eng.* 137:426-434.
- Hatfield, J.L., T.J. Sauer, and J.H. Prueger. 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency. *Agron. J.* 93:271-280.
- Holzappel, E., J. Jara, and N. Valderrama. 2011. Different levels of water and fertilizer application in 'Hass' avocado trees during four seasons in the Peumo Valley of Chile. *Acta Hort.* 889:385-389
- Howell, T. 2001. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agron. J.* 93:281-289.
- Hsiao, T.C., and L.K. Xu. 2000. Predicting water use efficiency of crops. *Acta Hort.* 537:199-206.
- Jancu, M., F. Stanica, and M. Dumitrascu. 2011. Influence of the groundcover management system and drip irrigation on behaviour of the 'Golden Spur' apple cultivar grafted on MM106 rootstock. *Acta Hort.* 889:265-271.
- INE. 2007. Censo Agropecuario y Forestal. 2007. Resultados por Comuna. [en línea]. Disponible en http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_agropecuarios/censo_agropecuario_07_comunas.php (Consultado abril 2010)
- INFOTAT. 2004. Infostat. Software estadístico. Manual del usuario. Versión 2004. Grupo Infostat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Iglesias, I., J. Graell, D. Faro, C. Larrigaudiere, I. Recasens, G. Echeverría, y M. Vendrell. 1999. Efecto del sistema de riego en la coloración de los frutos, contenido de antocianos y actividad de la fenilalanina amonioliasa (PAL), en manzanas cv. 'Starking Delicious'. *Investig. Agrar. Prod. Prot. Veg.* 14:157-172.
- Köksal, E.S., B. Cemek, K.E. Temized, and M. Tassan. 2011. A new approach for neutron moisture meter calibration: artificial neural network. *Irrig. Sci.* 29:369-377.
- Lakatos, T. 2004. Effects of crop load on tree water use in apple (*Malus x domestica* Borkh.). *Acta Hort.* 646:55-61.
- Leib, B., H. Caspari, C. Redulla, P. Andrews, and J. Jabro. 2006. Partial rootzone drying and deficit irrigation of 'Fuji' apples in a semi-arid climate. *Irrig. Sci.* 24:85-99.
- López, R., R. Arteaga, M. Vásquez, I. López, e I. Sánchez. 2009. Índice de estrés hídrico como un indicador del momento de riego en cultivos agrícolas. *Agric. Téc. (Méx.)* 35:92-106.
- Mpelasoka, B., M. Behboudian, and S. Green. 2001. Water use, yield and fruit quality of lysimeter-grown apple trees: responses to deficit irrigation and to crop load. *Irrig. Sci.* 20:107-113.

- 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. Biotechnol.* 75:615-621
- Muñoz, M. 2005. Respuesta de la variación del diámetro de tronco y del potencial hídrico xilemático a diferentes regímenes de riego en uva de mesa, cv. Crimson Seedless. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad de Chile, Fac. Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.
- Parra-Quezada, R., T. Robinson, J. Osborne, y L. Parra-Bujanda. 2008. Efecto de carga de fruto y déficit hídrico en la calidad y producción de manzana. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 14:49-54.
- Quezada, C., S. Fischer, J. Campos, and D. Ardiles. 2011. Water requirements and water use efficiency of carrot under drip irrigation in a haploxerands soil. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 11:16-28.
- Requena, A., G. Nordenström, y E. Castillo. 2011. Coeficientes de cultivo de manzano en período de formación obtenidos en lisímetros de drenaje. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/mendoza/V-Jornadas/Ponencia>. (Consulta 16.09.2011)
- Šircelj, H., M. Tausz, D. Grill, and F. Batic. 2007. Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters. *Sci. Hortic.* 113:362-369.
- Sokalska, D.I., D.Z. Haman, A. Szewez, J. Sobota, and D. Dereri. 2009. Spatial root distribution of mature apples trees under drip irrigation system. *Agric. Water Manage.* 96:917-924.
- Tanasescu, N., and C. Paltineanu. 2004. Fruit yield and tree growth for various irrigation methods at pitesti-maracineni in the 'Golden Delicious' apple cultivar. *Acta Hort.* 664:639-645.
- Universidad de Concepción. 2008. Boletín Agrometeorológico. Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola, Chillán, Chile.
- Vita, F., M. Liotta, and C. Parera. 2004. Effects of irrigation deficit on table grape cv. Superior Seedless production. *Acta Hort.* 646:183-186.
- Yuri, J., O. Hernández, C. Bravo, y V. Lepe. 2009. Balance de la temporada 2008/2009. Pomáceas. Boletín Técnico 9. Universidad de Talca, Talca, Chile.
- Zegbe, J., M. Behboudian, A. Lang, y B. Clothier. 2007. Respuesta del manzano 'Pacific Rose™' al riego parcial de raíz. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 13:43-48.
- Wang, F-X., Y. Kang, and S-P. Liu. 2006. Effect of soil wetting pattern and potato growth in North China Plain. *Aric. Water Manage.* 79:248-264.