

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**Evaluación de la respuesta en durazneros (*Prunus persica* L. Batsch cv.
“Don Alberto”) al riego por goteo con tres niveles de estrés hídrico**

Por

Carlos Pedro FERRÉS PACHECO

uno

Trabajo Final presentado como

**de los requisitos para obtener el
título de Diplomado en Agronomía,
opción Suelos y Aguas**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
noviembre 2012**

TABLA DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN	II
SUMMARY	II
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1 EL RIEGO EN FRUTICULTURA	1
1.1.1 <u>Riego localizado de alta frecuencia</u>	2
1.2 MEDICIÓN DE AGUA EN EL SUELO	4
1.3 MEDICIÓN DEL ESTADO HÍDRICO DE LAS PLANTAS	6
1.4 EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO SOBRE EL CRECIMIENTO VEGETATIVO	10
1.5 EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO SOBRE LA PRODUCCIÓN	11
1.6 EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO SOBRE EL RENDIMIENTO	12
1.7 EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO SOBRE EL TAMAÑO DE LOS FRUTOS	14

1.8 EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO SOBRE LA CALIDAD DE LA FRUTA	20
2. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	26

RESUMEN

Durante la temporada 2012-2013 se realizó un ensayo de investigación, donde se evaluó la influencia del contenido de agua del suelo en un sistema de riego localizado por goteo y su efecto en la respuesta vegetativa, fisiológica y productiva de árboles jóvenes de duraznero (*Prunus pérsica* L. Batsch cv. "Don Alberto"), para determinar su comportamiento bajo déficit hídrico. Se establecieron tres tratamientos de riego y uno en seco, basándose en la evapotranspiración estimada del cultivo, equivalentes a 33%, 66% y 100% de la ETc máxima. Se analizó el contenido de agua en el suelo; potencial hídrico xilemático; crecimiento vegetativo del tronco, brotes y frutos; intercepción de la radiación solar; rendimiento; producción; calibre de los frutos por tamaño y calidad de la fruta cosecha. Todos estos factores relacionados con el estrés hídrico en durazneros, interfieren en el desarrollo vegetal y producen una caída en el rendimiento, la producción y calidad de la fruta cosechada. Se ha comprobado que determinados niveles de estrés hídrico, resultan en efectos benéficos para la planta, sin disminución significativa de los rendimientos comerciales y mejorando la eficiencia en el uso del agua. El riego deficitario controlado, puede ser una herramienta

efectiva para el ahorro de agua y promueve la reducción del crecimiento vegetativo a favor del crecimiento de fruto. El informe que se presenta está basado en la revisión bibliográfica de los principales antecedentes nacionales e internacionales relacionados con el tema.

Palabras clave: frutales de hoja caduca, *Prunus pérsica*, riego localizado, déficit hídrico, potencial xilemático

Evaluation of peach trees (*Prunus persica* L. Batsch cv. "Don Alberto") response to a drip irrigation system with three levels of water stress

SUMMARY

During the 2012-2013 season a research trial was carried out, in order to evaluate the influence of soil water content on a drip irrigation system and its effect on vegetative, physiological and productive response in young peach trees (*Prunus persica* L. Batsch cv. "Don Alberto"), to determine their behavior under water deficit. The study established three irrigation treatments and one on dry land, based on estimated crop evapotranspiration, equivalent to 33%, 66% and 100% of the maximum ET_c. We analyzed the water content in the soil, xylem water potential, vegetative growth of the trunk, shoots and fruits, solar radiation interception, yield, production, fruit size and quality of the fruit harvest. All these factors related to water stress in peach, interfere with plant development and produce a downfall in the yield, production and quality of fruit harvested. It has been found that certain levels of water stress result in beneficial effects to the plant, without significant decrease in yields, and improved commercial efficiency in the use of water. Regulated irrigation deficit can be an effective tool for saving water, and promotes the reduction

of vegetative growth in favor of fruit growth. This report is based on the literature review of major national and international history on the topic.

Key words: fruit trees, *Prunus persica*, drip irrigation, water deficit, stem water potential

1. INTRODUCCIÓN

1.1 EL RIEGO EN FRUTICULTURA

En los primeros estudios de riego de árboles frutales caducos, la mayoría de los autores coinciden en cuanto a que el riego proporciona tres beneficios principales: mejora el crecimiento del árbol (Chalmers *et al.*, 1983; Frecon, 2002), incrementa el rendimiento (Chalmers *et al.*, 1983; Bryla, 2004; Bryla *et al.*, 2003, 2005) y aumenta el tamaño del fruto (Morris *et al.*, 1962; Daniell, 1982; Baccino y García Petillo, 1995; Day, 2002). Sin embargo, tales beneficios dependen de cómo, cuándo y cuánta agua se aplique a la planta. El exceso y la falta de agua tienen un impacto en la productividad del cultivo de durazno y las mejores prácticas de riego deben reducir el uso del agua.

En climas lluviosos como el del Uruguay, en que los aportes de agua no dependen sólo del riego y por lo tanto no son controlables, se maneja el concepto de riego deficitario (RD).

El riego deficitario controlado (RDC) es una técnica que se basa en reducir la cantidad de agua aplicada en ciertos períodos fenológicos en que las plantas son menos sensibles a la falta de humedad y en satisfacer en un 100% el requerimiento hídrico de los árboles durante los períodos críticos, generalmente asociados a los períodos de floración y a las primeras etapas de crecimiento del fruto (Holzapfel *et al.*, 1995).

Se han propuesto prácticas de manejo del agua para reducir su uso, sin disminuir el rendimiento o la calidad de fruto del durazno. El riego deficitario controlado durante las fases fenológicas menos sensibles al déficit hídrico, puede ahorrar agua sin afectar el rendimiento del fruto (Ruiz-Sánchez y Girona, 1995; Dichio *et al.*, 2004; Naor, 2006a). La irrigación parcial radicular redujo 35-45% el uso del agua, sin afectar la fisiología de la planta o el volumen del dosel (Gong *et al.*, 2005). Estas prácticas se hicieron con base en cálculos de la demanda de evapotranspiración.

Se ha comprobado que determinados niveles de estrés hídrico resultan en efectos benéficos para la planta, sin disminución significativa de los rendimientos comerciales y mejorando la eficiencia en el uso del agua (Pagán *et al.*, 2007). El riego deficitario controlado puede ser una herramienta efectiva para el ahorro de agua y promueve la reducción del crecimiento vegetativo a favor del crecimiento de fruto. Asimismo contribuye a la reducción de los costos de producción, de poda, de aplicación de fitosanitarios y fertilizantes y a un aumento en la calidad de los frutos (Behboudian *et al.*, 1998). Una posible desventaja puede ser la reducción del tamaño de los frutos si el déficit generado es muy severo (Mills *et al.*, 1996).

1.1.1 Riego localizado de alta frecuencia

El sistema de riego más utilizado en árboles frutales es el riego localizado de alta frecuencia (RLAF), el cual se basa en dos aspectos fundamentales, la localización y la alta frecuencia (Pizarro, 1990). Los RLAF se clasifican en función del caudal del emisor: alto caudal (16 a 150 lh^{-1}) que comprende a los micro aspersores y micro jets, y los goteros con un caudal menor a 16 lh^{-1} .

El riego por goteo tiene como beneficios la frecuencia y la uniformidad de aplicación, pero presenta problemas en la distribución del agua en el sitio de aplicación (Bryla *et al.*, 2005). El problema de la distribución del agua está relacionado a la forma y a la extensión que adquiere el bulbo mojado en el suelo, siendo más crítico en suelos arenosos. En suelos arcillosos, la combinación de una menor velocidad de infiltración y el predominio de las fuerzas matriciales sobre las gravitacionales en un mayor rango de humedad, permiten un mayor desarrollo horizontal del bulbo mojado en relación a los suelos arenosos (Pizarro, 1990).

En investigaciones realizadas en el Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, Hayashi *et al.* (2012) indican que con emisores de 1,6 lh^{-1} los diámetros de mojado no superan los 0,50 m en la profundidad radicular (aprox. 0,42 m) cuando se regó por 2

horas.

El incremento de las horas de riego no se tradujo en mayor área mojada, por el contrario disminuyó la misma debido al mayor consumo por parte del cultivo. Esto muestra que el ajuste del tiempo de riego no fue suficiente para compensar el aumento de las necesidades del cultivo y por ello el suelo se estaba secando.

Con emisores de 4 lh^{-1} , los diámetros de mojado no superan los 0,70 m con 2 horas de riego. Al igual que en el caso anterior el incremento de las horas de riego no se tradujo en mayor área mojada por el mayor consumo del cultivo.

En ambos casos, a pesar de que el suelo se estaba secando en el horizonte superior, existió pérdida de agua por percolación profunda, disminuyendo la eficiencia de aplicación del sistema de riego ya que la misma no es aprovechada por el cultivo.

Estos resultados no concuerdan con los encontrados por Quezada *et al.*, (2005) quienes midieron, en suelos profundos de textura franco arcillosa, bulbos de 1,32 m de diámetro y 0,90 m de profundidad utilizando goteros de 4 lh^{-1} y tiempo de riego de 2 horas. Esto muestra que la textura del suelo, por sí sola es un mal estimador de la forma final del bulbo húmedo (Thorburn *et al.*, 2003).

Como respuesta a esta problemática en la distribución del agua en el suelo, se crearon los micro aspersores (aspersor de tamaño pequeño) y los difusores que cuentan con una tobera no giratoria que pulveriza y distribuye el agua de riego.

Los micro aspersores y micro jets logran cubrir una mayor área de mojado en relación a los goteros. Son recomendados para suelos de alta permeabilidad y reducida capacidad de almacenaje de agua. Presentan como desventajas las pérdidas por evaporación y el efecto del viento que afecta la uniformidad de distribución (Koumanov *et al.*, 1997). De acuerdo a Goldhamer *et al.* (1985), la baja uniformidad de distribución no necesariamente afecta la distribución espacial del agua a nivel de las raíces.

En terrenos semiáridos, el uso extensivo de sistemas de riego localizado de alta frecuencia, modifica los patrones de crecimiento del sistema radicular, así como la absorción hídrica de la planta, a causa de las diferencias en que el agua se distribuye a través del perfil del suelo (Bryla, 2004). Girona *et al.* (2002) indicaron que la monitorización del contenido de agua disponible del suelo es fundamental para programar el riego eficiente, debido a la variabilidad en la respuesta de los árboles, los patrones de humedad, profundidad del suelo y exploración de la raíces en sistemas de riego de alta frecuencia.

1.2 MEDICIÓN DE AGUA EN EL SUELO

El estatus hídrico del suelo se ha utilizado ampliamente para la programación del riego (Campbell y Campbell, 1982) y existen varios métodos y distintas técnicas para calcular el contenido de agua del suelo. Entre éstos está el uso de la sonda de neutrones, aunque este método es costoso y requiere mucha mano de obra (Leteo, 2007).

Garnier *et al.* (1986) realizaron una completa descripción del aparato y el método utilizado para investigar el contenido de agua del suelo, obtenido con una sonda de neutrones (Pitman Instruments, Wallingford, model 225), usada con tubos ubicados a 50 cm de los troncos de los árboles dentro de una fila (un tubo para cada tratamiento).

Modo de operación de la sonda de neutrones: La sonda, con su fuente de neutrones rápidos y su detector de neutrones lentos, se introduce en el suelo mediante un tubo de acceso. Los neutrones son emitidos por la fuente (por ejemplo, radio o americio-berilio) a muy alta velocidad (neutrones rápidos). Cuando estos neutrones chocan con un átomo pequeño, tal movimiento cambia y una parte de su energía se pierde. Estos neutrones “desacelerados” son medidos por el tubo detector y el contador de impulsos. La lectura está relacionada directamente al contenido de agua en el suelo (Brady, 1984).

Otros métodos para determinar indirectamente el contenido de agua el suelo son el uso de tensiómetros o sensores de resistencia eléctrica (Lowery *et al.*, 1986; Hanson *et al.*, 2000).

Herramientas más recientes permiten realizar la medición continua del contenido de agua del suelo. Por ejemplo, numerosos estudios han determinado el contenido de agua del suelo mediante reflectometría con TDR (Reflectometría en el Dominio Temporal) (Green y Clothier, 1999; Polak y Wallach, 2001).

Recientemente, la sonda capacitiva FDR (Frequency Domain Reflectometry) ha dado resultados excelentes en la medida en que calibración, instalación, así como interpretación y transmisión de datos, estén implicados (Platineanu y Starr, 1997). La medición continua del contenido de agua el suelo con sondas capacitivas (FDR), tiene la ventaja sobre los métodos convencionales (gravimétrico, potencial de agua del suelo, sonda de neutrones) de permitir el acceso a los datos en tiempo real, de manera que las variaciones pueden analizarse considerando las características del suelo, absorción radicular, condiciones climáticas y limitaciones de la misma sonda capacitiva.

Las mediciones continuas del contenido de agua del suelo con la sonda capacitiva FDR, permitieron establecer un rango de humedad óptimo para el cultivo en función de las propiedades del suelo, con lo que la dosis y frecuencia de riego se pudieron ajustar con precisión.

La programación del riego en árboles de durazno jóvenes, para conservar el contenido de agua del suelo en el área de la raíz central (0-50 cm de profundidad) a entre +10% y -5% de la capacidad de campo, redundó en un ahorro de agua de aproximadamente 18%, en comparación con la programación convencional basada en el cálculo de ET_c, sin disminución significativa en el rendimiento frutal o el crecimiento vegetativo (Mounzer, 2008).

1.3 MEDICIÓN DEL ESTADO HÍDRICO DE LAS PLANTAS

El estado hídrico de la planta tiene un rol determinante en todos sus procesos fisiológicos, siendo el crecimiento uno de los más sensibles al déficit hídrico. Los árboles pueden ser usados como indicadores biológicos para determinar el momento y la cantidad de riego, desde que ellos están continuamente resolviendo sus propias ecuaciones de balance hídrico y en principio un parámetro fisiológico adecuado es todo lo que se requeriría. Además, los indicadores del estado hídrico basados en medidas en las plantas, poseen la ventaja adicional de estar directamente relacionados con la productividad de los cultivos (Goldhamer *et al.*, 2003, citado por Moreno *et al.*, 2006).

Para que un indicador del estado hídrico de los cultivos pueda constituir una adecuada herramienta para la programación del riego, debe de presentar alta sensibilidad para diagnosticar cambios en el estado hídrico de las plantas, debiendo existir una determinada proporcionalidad entre la intensidad de señal del indicador y el nivel de estrés hídrico desarrollado. La sensibilidad de un indicador del estrés hídrico, se puede plantear como un cociente entre la respuesta a la situación donde se satisface la totalidad de la evapotranspiración del cultivo, sobre la respuesta de una situación deficitaria. Si ese cociente es 1 el indicador es insensible. Cuanto más diferente de 1 y más proporcionalidad exista entre la variación del indicador y la magnitud del estrés mejor será ese indicador. Moreno *et al.*, (2005), llaman a esto intensidad de la señal (SI).

Goldhamer y Fereres (2004) fueron los primeros en demostrar que es factible desarrollar un programa de riego basado sólo en la intensidad de señal de la máxima contracción diaria del tronco (MDS) en almendros. Posteriormente, García-Orellana *et al.* (2007), Vélez *et al.* (2007) y Ortuño *et al.* (2009), confirmaron que en cítricos, las mediciones de la MDS son adecuadas para ajustar un programa de riego deficitario.

El uso de indicadores del estado hídrico de la planta para la programación del riego, tales como el potencial hídrico del tallo al mediodía y la máxima contracción diaria del tronco (MDS), requieren la definición de un valor de referencia o de umbral, más allá del cual el riego es necesario. Estos valores de referencia generalmente se obtienen de la variación estacional de estado hídrico de la planta, en condiciones en las que no se limita la disponibilidad de agua en el suelo. Esta metodología implica tener siempre algún grupo de plantas regadas sin restricciones, lo que a nivel comercial puede generar algún problema operativo. Es por eso que se vienen desarrollando esfuerzos, para poder establecer los valores de referencia o línea de base estacional en función de diferentes variables, como por ejemplo, el potencial xilemático, el contenido de agua en el suelo y parámetros climáticos, como temperatura, déficit de presión de vapor, etc. (Fererres y Goldhamer, 2003; Moreno *et al.*, 2006; Ortuño *et al.*, 2006; Vélez *et al.*, 2007).

Goldhamer y Fereres (2001) proponen un protocolo para utilizar medidas de MDS, para el manejo del riego de alta frecuencia de árboles adultos. Este protocolo consiste en mantener la intensidad de señal (SI) de la MDS en torno a un valor umbral, disminuyendo el riego un 10% cuando la SI de la MDS no superaba el valor umbral en tres días consecutivos, y aumentando el riego en un 10% si la SI de la MDS superaba el valor umbral durante tres días consecutivos. García-Orellana *et al.* (2007) y Ortuño *et al.* (2009) reportaron que las mediciones de MDS se pueden utilizar para ajustar los programas de riego deficitario, de acuerdo con la información obtenida diariamente, ya que las cantidades de agua de riego puede ajustarse con mayor precisión.

Desde hace algunos años se han estudiado parámetros basados en mediciones de estrés hídrico en la planta, asociados a mecanismos fisiológicos, como la variación del diámetro del tronco, potencial hídrico xilemático y la temperatura de la canopia.

La variación del diámetro de los troncos ha mostrado ser sensible a variaciones en la disponibilidad de agua en el suelo, incluso en condiciones de estrés hídrico moderado (Cohen, 1994; Myburgh, 1996; Goldhamer *et al.*, 1999; Moriana y Fereres, 2002). Una de sus mayores ventajas es registrar continuamente las variaciones en el diámetro del tronco, permitiendo procesar esta información por medio de programas computacionales.

En los últimos años el uso de indicadores basados en el estado hídrico de las plantas, han tenido un gran desarrollo para el manejo más preciso del riego, ya que las plantas son los mejores indicadores de su propio estado hídrico (Goldhamer y Fereres, 2001; Goldhamer *et al.*, 2003; Naor, 2006b, Ortuño *et al.*, 2010). Recientemente, están adquiriendo una importancia creciente los esfuerzos encaminados a programar el riego en base a medidas del estado hídrico de las plantas (Goldhamer y Fereres, 2001, citado por Moreno *et al.*, 2006). Estas ideas derivan del hecho de que ni las medidas de humedad del suelo, ni las estimaciones de la evapotranspiración de un cultivo, reflejan de forma directa el estado hídrico del mismo. Las propias plantas son el mejor indicador de su estado hídrico, ya que integran los efectos tanto del suministro de agua desde el suelo, como de las condiciones climáticas (Jones, 2004, citado por Moreno *et al.*, 2006).

El tronco u otros órganos de la planta presentan ciclos diarios de crecimiento y contracción que son conocidas como fluctuaciones del diámetro del tronco (TDF por sus siglas en inglés).

Las medidas de variación del diámetro del tronco reflejan la combinación de cuatro componentes: crecimiento radial irreversible, rehidratación/deshidratación de las células, expansión y contracción térmica, y expansión de los vasos conductores del xilema, debido al incremento y relajación de tensiones internas (Daudet *et al.*, 2005, citado por Ortuño *et al.*, 2010). El ciclo diario de TDF ofrece tres índices diferentes: el máximo diámetro del tronco diario (MXTD), el mínimo diámetro del tronco diario (MNTD) y la máxima contracción diaria del tronco (MDS). Éste último se

calcula como la diferencia entre MXTD y MNTD. La tasa de crecimiento del tronco (TGR), se puede calcular teniendo en cuenta valores de MXTD en dos días consecutivos o períodos de tiempo más largo, a fin de reducir la variabilidad diaria del crecimiento del tronco (Ortuño *et al.*, 2010).

El registro continuo del diámetro del tronco ha sido propuesto como herramienta para la programación del riego (Huguet *et al.* 1992; Cabibel e Isberie, 1997; Cohen *et al.*, 2001; Goldhamer y Fereres, 2001, citados por Ortuño *et al.*, 2010).

La relación entre las deformaciones del tronco y el estatus hídrico de la planta parece poco clara. Sin embargo, numerosos intentos se han realizado para usar las variaciones del diámetro del tallo, como un indicador integrado del estrés hídrico de la planta, desde que la medición es no destructiva y puede ser registrada continuamente (e.g. Namken, Bartholic y Runkles, 1969, 1971; So, 1979; Meyer, 1980; Gensler y Díaz-Muñoz, 1983). Recientemente Mercier *et al.* (2009), citado por Ortuño *et al.* (2010), compararon diferentes regímenes de riego durante el segundo período de rápido crecimiento del fruto (estadio III del crecimiento del durazno), usando valores absolutos de medidas de MDS.

El potencial hídrico xilemático es un indicador que permite determinar el estado hídrico de las plantas en especies frutales y vides (Garnier y Berger, 1987; Ferreyra y Sellés, 2001; Fereres y Goldhamer, 2003).

El trabajo de Mercier *et al.* (2009) contempla el estudio de algunos indicadores fisiológicos del estado hídrico de la planta, que puedan ser utilizados como criterio para definir momento oportuno de riego. La hipótesis de este trabajo postula que aquellos indicadores de medición continua, serían más sensibles que mediciones discontinuas, en detectar el déficit hídrico y reflejar su magnitud durante el período de estrés.

1.4 EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO SOBRE EL CRECIMIENTO VEGETATIVO

La ausencia de diferencias significativas en la sección del tronco entre los tratamientos con riego y el secano al final del período de evaluación (Morales, 2010), es coincidente con los resultados encontrados por Layne *et al.* (1986), quienes atribuyeron la falta de respuesta al excesivo régimen de lluvias en las estaciones de crecimiento.

Al comparar el uso de una línea de goteros con dos líneas de goteros, los resultados obtenidos por Morales (2010), son coincidentes con los informes de Bryla *et al.* (2005), quienes al aplicar la misma dosis de riego con una y dos líneas de goteros, no encontraron diferencias significativas en la sección del tronco de árboles jóvenes de duraznero.

En frutales, las mayores diferencias reportadas en la bibliografía se presentan al comparar el uso de micro jets con el de goteros. Varios autores encontraron una mayor sección del tronco al regar con micro jets (Mitchell y Chalmers, 1983, en duraznero; Hermoso *et al.*, 2003, en palta; y Gispert 2003, en olivo). En cambio, Bryla *et al.* (2003, 2005), obtuvieron en árboles de duraznero una mayor sección del tronco, al utilizar goteros en comparación con el uso de micro jets, atribuyendo estas diferencias a una mayor eficiencia de aplicación con los goteros.

El tratamiento con micro jet no se diferenció estadísticamente de los tratamientos con goteros, a pesar de las distintas combinaciones de separación y de caudal utilizados en los mismos (Morales, 2010). Si bien los niveles de humedad en uno de los tratamientos, estuvieron siempre por debajo de los tratamientos con goteros, esto no se vio reflejado en una menor sección del tronco, al igual que en el crecimiento de los brotes. En las variables potencial hídrico foliar y xilemático, conductancia estomática, rendimiento y tamaño promedio de los frutos, los tratamientos que recibieron riego no se diferenciaron estadísticamente entre sí, pero todos presentaron valores significativamente superiores al secano ($p < 0.05$) (Morales, 2010).

1.5 EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO SOBRE LA PRODUCCIÓN

En un experimento, Berman y DeJong (1996), encontraron que con buenos controles de agua, el estatus hídrico de los árboles de durazno es independiente de la carga de fruta. En árboles que recibieron una irrigación reducida, el grado de estrés hídrico se incrementó con el aumento de la carga. El estrés hídrico indujo reducciones de peso en la fruta fresca a todos los niveles de carga investigados: liviano, moderado y pesado. El peso seco de la fruta no se redujo con el estrés hídrico en árboles con cargas livianas a moderadas, indicando que el grado de estrés hídrico impuesto no afectó la consistencia de la fruta. Los árboles con cargas pesadas tuvieron frutas con pesos secos significativamente reducidos, bien parecidos a las limitaciones de carbohidratos resultantes de grandes demandas de Carbono y limitaciones de estrés hídrico en la fotosíntesis.

La relación entre el crecimiento de la fruta y el estrés hídrico es dinámica y depende del estado de desarrollo de la fruta, la severidad del estrés hídrico y el componente de crecimiento considerado. En durazno, el rápido crecimiento inicial de la fruta es seguido por una fase intermedia de lento crecimiento. Esto es acompañado por un período de muy rápido incremento del peso fresco y seco de la fruta que culmina con la maduración (Chalmers y van den Ende, 1975). Durante la fase final de crecimiento, que consiste en aproximadamente un tercio del período de crecimiento, se acumula el 65% del peso seco de la fruta y 80% del peso fresco (Chalmers y Wilson, 1978).

Se observó que el crecimiento vegetativo y reproductivo en los árboles de durazno, es diferencialmente sensible al estrés hídrico. Adicionalmente, el crecimiento reproductivo es sensiblemente diferente al estrés hídrico en diferentes momentos de la estación. Se reportó que un estrés hídrico suave aplicado durante el período de desarrollo intermedio de

crecimiento lento de la fruta, no tiene efecto sobre los rendimientos de la cosecha, pero reduce significativamente el crecimiento vegetativo en durazno (Mitchell *et al.*, 1984). Sin embargo, el período final de muy rápido crecimiento, es relativamente sensible al estrés hídrico en durazno (Li *et al.*, 1989; Crisosto *et al.*, 1994), manzana (Lotter *et al.*, 1985) y pera asiática (Caspari *et al.*, 1994).

En un estudio sobre irrigación de árboles de duraznero, se realizaron experiencias de retraso para cuantificar la influencia de la variación de las condiciones del agua del suelo y la atmósfera, sobre las variaciones del diámetro del tronco, para probar si podían ser usadas como un indicador sensible del estrés hídrico en un programa de irrigación. También se midió el potencial de agua del tallo durante varios días y la relación entre éstos dos parámetros del estatus hídrico de la planta (Garnier y Berger, 1986).

Generalmente se asume que la contracción y la expansión del tronco es inducida por el desarrollo de los gradientes de potencial hídrico entre el floema y el conductor xilema, produciendo flujos de agua entre estos dos tejidos (Dobbs y Scott, 1971; Molz y Klepper, 1972).

1.6 EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO SOBRE EL RENDIMIENTO

Según Ortuño *et al.* (2010), la posibilidad de usar estrategias de riego deficitario controlado, capaces de reducir la ET estacional sin afectar el rendimiento y calidad de frutos, a través de medidas de MDS, es posible por el hecho de que el riego deficitario continuo puede ser programado de forma fiable utilizando solamente medidas de MDS, y manteniendo la intensidad de señal MDS cercanos a la unidad, cumpliendo con los requerimientos de agua del cultivo.

Las micro variaciones del diámetro del tronco han demostrado ser una medida sensible al estado hídrico de la planta, y es una medida ampliamente sugerida en la programación de riegos de frutales. Se ha comprobado que niveles bajos de estrés en determinado momento del ciclo del cultivo, no reducen los rendimientos comerciales (García Petillo *et al.*, 2011).

Worrall (1966) trabajando sobre árboles en maceta, encontró una relación lineal entre el diámetro del tallo y el potencial hídrico.

Los resultados de McBurney y Costigan (1982) mostraron que cuando el potencial hídrico del tallo (medido con un higrómetro unido al tallo) es medido enseguida de los cambios de diámetro, estos dos parámetros están relacionados en forma lineal, con ninguna fase de retraso entre ellos. Todos estos resultados sugieren que cuando la distancia entre los puntos de medición del potencial hídrico y de los cambios en el diámetro del tallo son bajos, la fase de retraso se redujo o canceló. Para investigar la relación entre el potencial hídrico y los cambios de diámetro del tallo, McBurney y Costigan (1982) hicieron un experimento, donde los árboles fueron regados con aspersores y se aplicaron dos tratamientos: húmedo y seco. Los cambios en el diámetro del tallo fueron medidos con cuatro sensores LVDT (Linear Variable Displacement Transducer), cada uno de ellos montado en un marco de metal. Todo el aparato fue calibrado en el rango de 10-35 °C, para medir la temperatura del objeto y de las inmediaciones del campo de operaciones. El LVDT se ubicó en el tronco principal, debajo de la primera rama del árbol, 10-30 cm sobre el terreno. Este es el mejor camino para integrar todo lo que sucede en el follaje del árbol.

Los cambios en el diámetro del tronco pueden dividirse en un componente irreversible debido al crecimiento de los tejidos y en otro reversible debido a la variación hídrica de los tejidos extensibles (Kozlowski, 1972). Entonces es posible definir un crecimiento diario, correspondiente a la diferencia entre dos sucesivos valores diarios máximos del diámetro del tronco (antes de la contracción), y una contracción diaria máxima correspondiente a la diferencia entre los valores máximo y mínimo del diámetro alcanzado durante el día. El potencial hídrico xilemático del tallo se midió con una cámara de presión (PMS Instrument Co.) (Schölander *et al.*, 1965) de la siguiente manera: se seleccionó una hoja madura en el medio de un brote y se encerró 2 horas previo a la medición en una bolsa de celofán cubierta con una hoja de aluminio. Esto para la transpiración de la hoja y

permite que el potencial del xilema de la hoja se equilibre con el potencial del xilema del tallo, en el punto de enlace con el pecíolo (Begg y Turner, 1970; Powell, 1974; Passioura, 1982, p. 16). Esta suposición fue confirmada por el trabajo de McBurney y Costigan (1982), quienes mostraron en plantas jóvenes de repollo, que el potencial medido con un higrómetro adjunto al tallo, era igual al medido con la cámara de presión en hojas cubiertas previamente con hoja de aluminio. Los valores presentados del tallo representan tres mediciones, realizadas en un tiempo dado y que fueron medidas en los mismos árboles (uno por día), como los cambios en los diámetros de los tallos.

1.7 EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO SOBRE EL TAMAÑO DE LOS FRUTOS

Mahhou *et al.* (2005) estudiaron la relación entre el estrés hídrico y la producción, comprobando que afectaron el crecimiento de la fruta en las últimas etapas, pero no en las más tempranas. La producción no afectó el potencial hídrico del tronco que, sin embargo, fue significativamente reducido por el estrés hídrico.

El estrés hídrico y la producción retrasaron la cosecha a través de su efecto en la maduración del fruto. El estrés hídrico redujo significativamente el promedio del rendimiento de fruta fresca. El estrés hídrico y la producción afectaron la distribución de la fruta por categorías de tamaño, con la proporción de fruta grande disminuyendo con el incremento de la producción y la severidad del estrés hídrico. El estrés hídrico redujo el peso de la fruta fresca y su rendimiento. La producción redujo el tamaño de la fruta y el contenido de sólidos solubles, mientras que el estrés hídrico redujo el tamaño de la fruta, pero mejoró el contenido de sólidos solubles (Mahhou *et al.*, 2006).

Bryla *et al.* (2005) informan que el riego por goteo superficial y sub superficial produjo la fruta más grande en promedio y los rendimientos mayores entre tratamientos. Los beneficios del riego por goteo aparecieron

mayoritariamente relacionados a la habilidad de aplicar frecuentes irrigaciones. Si bien el agua fue aplicada por encima o debajo de la superficie, las irrigaciones diarias por goteo mantuvieron alto el contenido de agua del suelo en la zona de las raíces y previnieron los ciclos de estrés hídrico, registrados entre los menos frecuentes riegos por surcos o micro aspersores.

El déficit de irrigación durante la etapa II y/o post cosecha, redujo significativamente el crecimiento vegetativo de los árboles. La producción de fruta no fue afectada por ningún sistema de riego hasta el cuarto año, cuando la fruta disminuyó levemente con déficit hídrico combinado. Por encima de todo, los resultados indican que el déficit de riego regulado, puede ser utilizado satisfactoriamente en durazneros creciendo en suelos profundos (Girona *et al.*, 2005).

Olien y Flore (1990) estudiaron los efectos sobre durazneros de un año de edad bajo condiciones de invernadero, aplicando un rápido estrés hídrico con un tratamiento de recuperación y dos niveles con un lento estrés hídrico (rehidratación a 50 y 25% del uso del agua controlada).

En el tratamiento con rápido estrés hídrico, la emergencia de las hojas fue más sensible que el crecimiento de las hojas y retoños. Sin embargo, el crecimiento de las hojas se recuperó primero después de la rehidratación. La emergencia de las hojas se redujo 80%, el largo de las hojas 77% y el de los retoños 65%. En la experiencia con lento estrés hídrico, el agua disponible del suelo declinó a 40 y 20% del control, para el 50 y 25% de los tratamientos de hidratación. Los datos tabulados mostraron reducciones en la emergencia de las hoja, crecimiento de las hojas, extensión de los retoños y diámetro del tronco. Reducciones significativas en el comportamiento de los estomas, siguieron a las reducciones en el crecimiento dentro de los 2-7 días en el experimento con lento estrés hídrico.

Los resultados mostraron que el suplemento de agua puede ser reducido a 36% de la evapotranspiración del cultivo (ETc), sin afectar significativamente el rendimiento de la fruta y su tamaño. El potencial hídrico

del tronco medido al atardecer, es un buen indicador del estatus hídrico de la planta y puede ser útil como control del estrés hídrico en durazneros, durante la fase II del crecimiento del fruto. Los promedios de potencial hídrico del tronco medidos al atardecer por encima de $-1,0$ MPa, no afectaron el tamaño del fruto y valores en torno a $-1,5$ MPa y solamente los afectaron en un 4%. Sin embargo, esta práctica puede afectar el vigor del árbol a mediano plazo, ya que el déficit hídrico en fase II muestra que disminuye el diámetro del tronco (Ferreyra *et al.*, 2002).

Girona *et al.* (2002) encontraron que las diferencias entre durazneros irrigados y no irrigados fue mayor en la etapa II y en la II que en la I, y los árboles no irrigados fueron claramente más estresados que los del control. El déficit hídrico durante el estado I redujo el promedio del peso de la fruta fresca, pero no tuvo efecto sobre el peso seco, indicando que el efecto del estrés hídrico fue más pronunciado en los estados temprano que en los tardíos. La carga de fruta redujo los valores del peso de la misma durante el estado I, pero el porcentaje de materia seca se mantuvo inalterado, indicando que la carga durante el estado I afectó la ganancia de agua y Carbono. Durante el estado II, el estrés hídrico redujo el peso fresco de la fruta, pero no tuvo efecto sobre el peso seco. Sin embargo, en el tratamiento de irrigación que recibió un corte de agua temprano, se redujeron el peso fresco y seco de la fruta durante el estado II. El déficit hídrico durante el estado III redujo significativamente el peso de fruta fresca y levemente el peso seco de la misma. Una interacción significativa entre la carga de fruta y el estrés hídrico se observó durante el estado II, donde durazneros con baja carga tendieron a ganar más peso seco que aquellos con la misma carga pero que fueron completamente irrigados. Esta interacción indicó su mutua dependencia, especialmente para la ganancia de Carbono.

Besset *et al.* (2001) aplicaron en una investigación tres tratamientos hídricos, de acuerdo a los cambios registrados en el diámetro del tronco: T1 – irrigación óptima; T2 – leve estrés hídrico; T3 – severo estrés hídrico. El crecimiento vegetativo y el número de pimpollos florales no difirió entre los

tres tratamientos. Sin embargo, los cambios en el diámetro del tallo, el potencial hídrico del tallo y la fotosíntesis de las hojas, fueron bien diferentes en los tres tratamientos. En particular, la fotosíntesis de las hojas se redujo bajo el T2 y aún más en el T3 cuando la radiación solar se incrementó. Altos rendimientos y pesos de fruta se lograron bajo el T1 y T2 y el promedio más bajo de sólidos solubles en T2 y T3. Cuando se aplicó un leve estrés hídrico, los porcentajes de sólidos solubles disminuyeron levemente, mientras los pesos de los duraznos permanecieron relativamente constantes. Por otra parte, cuando se registraron mayores limitaciones hídricas y de suministro de carbohidratos, como resultado de un estrés hídrico severo, el promedio del peso de fruta disminuyó severamente y los porcentajes de sólidos solubles se incrementaron, al comparar frutas de un mismo grado. Adicionalmente, la calidad del sabor del durazno puede considerarse mejorada por el estrés hídrico severo.

El estrés hídrico en el estado III disminuyó significativamente el peso medio de la fruta, tamaño y contenido de agua, e incrementó el total de sólidos solubles y la acidez. El estrés hídrico en el estado II incrementó significativamente el peso de la fruta en comparación con otros tratamientos (Karami *et al.*, 2002).

Los frutales de pepita en el estado de endurecimiento del carozo no son sensibles a estrés hídricos moderados. La duración de esa fase varía con el día de cosecha. En cultivares que maduran temprano, la duración de este estado es muy corta para ser considerada en déficit de irrigación. El crecimiento excesivo del follaje debido a niveles elevados de irrigación, disminuyó subsecuentemente la productividad estacional temprano en la estación y después de la cosecha. El estrés hídrico severo también disminuyó subsecuentemente la productividad estacional. El déficit de irrigación en el estado de reproducción celular y crecimiento final de la fruta, disminuyó el tamaño de la misma durante la cosecha. El estrés hídrico en el estado de crecimiento de la fruta acelera la maduración y mejora la firmeza de la fruta, el contenido total de sólidos solubles y el color de la fruta, pero

reduce el tamaño de la fruta, que es el mayor atributo relacionado con la calidad de la misma. Severos déficit hídricos en el estado de desarrollo de los pimpollos, aumenta las proporciones de frutas mellizas y con profundas suturas en duraznos y nectarinas (Gospodinova, 2007).-

McFayden *et al.* (1996) encontraron que los árboles con elevada carga tuvieron un menor potencial hídrico de la fruta y un mayor potencial osmótico, y consecuentemente un menor potencial turgente de la fruta, que los árboles con carga más liviana. El crecimiento diario de la fruta fue también menor y el hundimiento mayor con alta carga que con baja, y esto está correlacionado con el menor potencial hídrico de la fruta y potencial turgente en la cosecha pesada. El potencial hídrico de la hoja fue también menor en la cosecha pesada que en la liviana, pero la carga no parece haber influenciado las relaciones hídricas significativas, a través de cambios en la conducta de la hoja. Se concluyó que el incremento de la carga aumentó el déficit hídrico de la fruta y redujo su crecimiento. Por consiguiente, la reducción en el tamaño de la fruta comúnmente asociado con el incremento de la carga, puede deberse, al menos en parte, al efecto de la carga sobre las relaciones hídricas de la fruta. Es posible que riegos más frecuentes o por lo menos la llovizna sobre los árboles, pueda mejorar las relaciones hídricas de la fruta e incrementar su tamaño, en árboles con cosechas pesadas en una mayor extensión que en árboles con cosechas livianas.

Marsal *et al.* (2005) evaluaron la hipótesis de que diferentes cargas de fruta entre las ramas principales de un árbol, puede inducir diferencias en el estatus hídrico. Se hicieron dos experimentos, uno completamente regado y otro donde los durazneros fueron irrigados con un déficit hídrico de 50%. El potencial hídrico del tallo se midió con una cámara de presión al atardecer y el comportamiento de la hoja a mediodía, utilizando un porómetro fijo portátil. Las máximas diferencias en la carga de fruta entre árboles, produjo diferencias en el potencial hídrico de 0,12 MPa y 0,25 MPa, para los tratamientos con riego completo y deficitario, respectivamente. Asimismo, la

magnitud del cambio en el potencial hídrico del tallo fue mayor para las condiciones de riego deficitario, extremas diferencias en la carga de fruta entre las ramas principales con un duraznero irregular, solamente indujo diferencias el comportamiento de la hoja y/o tuvo efectos en el potencial hídrico de las ramas principales, independientemente del experimento de irrigación. Los efectos de la carga de fruta sobre el estatus hídrico de las ramas fue gobernado principalmente por la carga de fruta, mejor que la carga de las ramas principales. Estos resultados indican que hay un u otro pequeño aislamiento entre las ramas principales, independiente del estatus hídrico del árbol, o una eficiencia hidráulica mejorada asociada con el raleo de fruta.

Goldhamer *et al.* (2001) midieron el estatus hídrico del suelo, el potencial hídrico del tallo y las fluctuaciones del diámetro del tronco con sensores LVDT y un esquema de irrigación basado en la demanda atmosférica. No hubo diferencias significativas entre el esquema de irrigación en la carga de fruta en la cosecha, tamaño, pesos fresco y seco, hidratación, distribución por tamaño y crecimiento del árbol. Las técnicas basadas en las plantas fueron identificadas como el mejor paso, ya que reflejan pequeños cambios en el estatus hídrico. Sin embargo, se recomendó que los productores de durazno utilicen técnicas de riego basadas en la demanda atmosférica, para suministrar una aproximación primaria o un punto de arranque para un esquema de irrigación, y luego usen los pasos de medir el contenido de agua del suelo o los basados en las mediciones en la planta, para poder adoptar una decisión acertada.

Berman y DeJong (1997) encontraron que las medidas a campo del crecimiento del tallo en durazneros de 3 a 5 años de edad, mostraron un consistente patrón diurno. El promedio de la extensión del tallo fue menor temprano en la mañana y se incrementó durante el día. La temperatura responsable del crecimiento del tallo a potenciales hídricos constantes, fue determinada usando árboles en maceta en una cámara de crecimiento oscura. Bajo estas condiciones, el crecimiento del tallo fue fuertemente

dependiente de la temperatura del aire. En el campo, el crecimiento observado del tallo se desvió de las predicciones basadas en la temperatura. Estas desviaciones fueron proporcionales al valor del cambio del potencial hídrico del tallo. Se construyó un modelo para predecir los valores diarios de la extensión del tallo, utilizando datos de temperatura y potencial hídrico. La predicción de los valores de crecimiento con el modelo, fueron en general concordantes con los valores observados.

El continuo monitoreo del diámetro del tronco y el flujo de savia, fueron investigados para evaluar y caracterizar las respuestas de los durazneros a los déficit hídricos. Los parámetros diámetro del tronco y potencial hídrico del tallo, fueron sensibles al estrés hídrico y sus valores disminuyeron un 60% con el desarrollo del estrés. Los resultados muestran que la medidas automáticas del diámetro del tronco, proveen un método preciso para el mejoramiento del manejo de los esquemas de irrigación en durazneros (Cohen *et al.*, 2001, citado por Ortuño *et al.*, 2010).

1.8 EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO SOBRE LA CALIDAD DE LA FRUTA

El raleo de fruta puede ser usado para relevar el estrés hídrico en durazneros, pero no se sabe cómo responderá la calidad de la fruta bajo condiciones limitantes de agua. Los tratamientos realizados fueron riego completo y no irrigación, cada uno recibiendo tres niveles de cosecha: liviana, comercial y pesada. El tamaño de la fruta y la coloración de su cáscara fueron menores en el tratamiento sin riego, pero resultaron ser mayores la firmeza, acidez del jugo y la conductividad eléctrica, concentraciones de materia seca y sólidos solubles. Todos los parámetros de calidad resultaron significativamente correlacionados con el estatus hídrico de los árboles, expresados como potencial hídrico del tallo a mediodía. El incremento de la concentración de materia seca, acidez del jugo y conductividad eléctrica en la fruta no regada, fueron indicativos de menor calidad en la cosecha. Como el tamaño de la fruta es el atributo de calidad más importante, su incremento puede compensar los bajos

rendimientos obtenidos con un raleo intenso de fruta. Sin embargo, cuando un raleo intenso se lleva a cabo para mitigar el efecto del estrés hídrico en el estado III, todos los parámetros de calidad de la fruta van a sufrir si el severo estrés hídrico es inevitable por la falta de riego (López *et al.*, 2010).

Un estudio realizado sobre durazneros de 8 años de edad, mostró que un relevamiento continuo del diámetro del tronco, puede ser una técnica correcta para detectar estrés hídrico (tan bien como el tradicional método de medir “*predawn*” o potencial hídrico de la hoja a mediodía o potencial hídrico del tallo a mediodía). Los árboles fueron evaluados durante 21 días con déficit de irrigación, más sensibles que las mediciones discretas del estrés hídrico y la magnitud del déficit de agua. Los parámetros basados en el monitoreo del diámetro del tronco, se correlacionan bien con los parámetros fisiológicos establecidos del estatus hídrico de la planta. Estas oscilaciones del diámetro del tronco, que solamente están disponibles a partir de un monitoreo continuo, prometen el mejoramiento de la precisión de la decisión de regar (Fereres *et al.*, 1999).

Una estrategia para ahorrar agua en cultivares de durazneros y nectarinas de maduración temprana, es suspender el riego después de la cosecha. Muchos informes de la literatura científica, han mostrado que esta estrategia puede ser aplicada sin reducir el rendimiento o causar aparentes daños en los árboles. Sin embargo, generalmente hay un incremento en los desórdenes de la fruta, tales como dobles y profundas suturas al año siguiente. Si el estrés hídrico es relevado tarde en el verano, estos defectos en la fruta pueden ser a menudo minimizados. Hay un poco de incertidumbre sobre cuál es el mejor momento para relevar el estrés hídrico en el verano. En la experiencia realizada por Johnson y Phene (2008), las lecturas del potencial hídrico del tallo se hicieron regularmente en los árboles. Todos los tratamientos de estrés causaron algún tipo de problema al año siguiente, aunque los resultados no fueron consistentes entre los dos años. Los daños causados por ácaros y quemaduras del sol, aumentaron en muchos de los tratamientos. Se concluyó que ninguno de los tratamientos podrá ser

recomendado como una práctica estándar. Sin embargo, bajo condiciones hídricas limitantes, los resultados del experimento sugieren que la mejor estrategia es suspender el agua durante el período junio-julio y luego regar completamente durante agosto a setiembre.

Génard y Huguet (1999) demostraron que el estrés hídrico afecta la calidad de la fruta, principalmente disminuyendo su peso e incrementando el contenido de azúcar. En su informe se presenta un modelo compuesto por dos sub-modelos representando el crecimiento de la fruta y el contenido de azúcar. Se determinó el crecimiento de la fruta (materia fresca y seca) de acuerdo a las simples leyes de la transferencia del agua y Carbono dentro y fuera de las frutas (sub-modelo 1). El flujo de Carbono calculado por el sub-modelo 1 fue usado en el sub-modelo 2, para simular la variación temporal de los contenidos de azúcar. Los datos ingresados al modelo fueron temperatura, radiación global y máximo hundimiento diario del tronco. El modelo permitió la simulación de la variación estacional de los pesos fresco y seco, el contenido de materia seca de las frutas y los contenidos de azúcar de la pulpa. Durante la maduración, el contenido de sucrosa se incrementó, pero no se observaron cambios en los otros azúcares. Este comportamiento fue típico de la acumulación de azúcar en el durazno. Similarmente a los datos experimentales, el modelo no predijo ninguna variación importante en las concentraciones de azúcares reductores o sorbitol. También se investigó la interacción entre el estrés hídrico y la concentración de azúcar en el jugo.

En un ensayo de cinco años, realizado en Uruguay en 1995 por Baccino y García, un monte de durazno cv. Rey del Monte, fue irrigado durante la estación de crecimiento, desde la brotación hasta la cosecha, o no irrigado. Cerca del final de la experiencia, el riego incrementó el diámetro del tronco un 13% en comparación con los árboles no irrigados y el peso de la madera podada en el quinto año fue aproximadamente de 4 kg/árbol con riego en comparación con 2,8 kg/árbol sin riego. El rendimiento de la fruta en el quinto año se incrementó de 1,99 t/ha en los controles, hasta aproximadamente 2,74 t/ha con riego y el porcentaje de frutas de primera y

segunda categoría se incrementó de 72 a 92%. En algunos años, el riego incrementó significativamente los contenidos en la hoja de N, P y K. No hubo diferencias significativas en ninguno de los parámetros entre los dos tratamientos de riego.

Se examinaron cuatro regímenes de irrigación con déficit hídrico regulado durante los dos primeros estados del desarrollo de la fruta: 12,5, 25, 50 y 100% ET. Durante el tercer estado todas las variantes recibieron la misma irrigación normal, por ejemplo 100% ET. La aplicación del déficit hídrico por encima de 1/8 de la ET calculada, que se alcanzó con 95,3 m³/ha durante el segundo estado, puede proveer un rendimiento que no difiere significativamente del obtenido con el riego óptimo biológico. El déficit hídrico por debajo de 50% de la ET, aplicado durante el segundo estado, tuvo un leve efecto negativo sobre la calidad de la fruta extra (mayor 65 mm) (Gospodnova, 1997).

Respuestas productivas y vegetativas fueron analizadas durante tres años consecutivos, en durazneros sujetos a tres estrategias reguladas de déficit de riego más un tratamiento de control (Girona *et al.*, 2003). Un tratamiento post cosecha regado a 0,35 del control después de la cosecha. Otro tratamiento (etapa II) se regó a 0,5 del control durante la fase retardada de la curva de crecimiento de la fruta. El tercer tratamiento se aplicó durante la etapa II a 0,5 del control y post cosecha a 0,35 del control. El efecto general del estrés hídrico durante la etapa II, no afectó el retorno de la florescencia y cuajado del fruto, mientras que el estrés hídrico durante la post cosecha, aparentemente redujo ambos parámetros. En consecuencia, la cantidad y carga de la fruta manifestaron marcadas diferencias entre tratamientos, que resultaron también correlacionados con los cambios en el tamaño de la fruta. El tratamiento de la etapa II, que tuvo el rendimiento más alto de fruta, también tuvo el tamaño de fruta más pequeño, mientras que el tratamiento post cosecha manifestó el menor rendimiento y el tamaño de fruta mayor. El crecimiento vegetativo (elongación de brotes y sección de área cruzada del tronco), se redujo significativamente durante los dos

primeros años de la experiencia, en concordancia con la cantidad de reducción del riego. Sin embargo, el crecimiento fue fuertemente gobernado por la carga de fruta. El uso del otro tratamiento combinado de la etapa II con post cosecha, representó un efecto intermedio de cosecha entre el comportamiento opuesto de carga de los otros dos tratamientos, mientras no se esperaban rendimientos distintivos o reducciones de tamaño y ofreciendo remarcables ahorros de 22% del control aplicado de agua.

Los factores clave para obtener buenos rendimientos y alta calidad en la producción de duraznos en regiones semiáridas son el agua disponible y la fertilización. El objetivo del estudio de Rufat *et al.* (2010), fue investigar los efectos de diferentes estrategias de riego y dosis de Nitrógeno en el crecimiento de las plantas y frutos, rendimiento y calidad en duraznos para procesar. Tres tratamientos de riego fueron evaluados de acuerdo a la etapa de crecimiento de la fruta: 100% completa ETc a lo largo de la estación, 70% ETc durante la etapa II y 30% ETc durante la etapa III. Estos fueron combinados con tres tratamientos de fertilización nitrogenada: 0, 60 y 120 kg/ha. La cantidad de agua ahorrada reduciendo el riego en las etapas II o III del crecimiento de la fruta, fue equivalente a 12% de la cantidad total de agua aplicada. El déficit de riego durante la etapa II, no afectó la calidad de la fruta, pero disminuyó el crecimiento vegetativo y modificó las relaciones de los nutrientes foliares. Por otra parte, el déficit de riego durante la etapa II, redujo el tamaño final de la fruta y el rendimiento, e incrementó la firmeza y el total de sólidos solubles durante ése período. Cuando no se aplicó N, el crecimiento estacional de la fruta fue menor, la maduración más temprana, se redujo la firmeza y se incrementó el color rojo de la piel. La fertilización nitrogenada aumentó las concentraciones de nitrógeno en hojas y frutos, pero no tuvo efecto sobre el rendimiento.

Los resultados de tres diferentes estudios de regulaciones combinadas de déficit de riego, bajo diferentes condiciones de profundidades de suelo, se compararon con los efectos hortícolas (crecimiento de la fruta, densidad de floración y cuajado) y cambios en los parámetros relevados de

estrés hídrico en durazneros. Un estudio se realizó en condiciones de suelo superficial (menor a 0,5 m) con valores de riego para árboles con déficit hídrico regulado, siendo respectivamente reducidos a 0,5 y 0,35 de la completa irrigación. Un tratamiento de control durante la etapa II de desarrollo de la fruta y post cosecha. En otro estudio, en suelos profundos (mayor a 2 m), los valores de irrigación se redujeron a 0,35 del tratamiento de control durante la etapa II y post cosecha. En el tercer experimento, los suelos también eran profundos, pero la irrigación durante la etapa II fue mantenida para los árboles con déficit de riego regulado. El déficit hídrico de las plantas fue estimado por los promedios de los potenciales hídricos del tallo a mediodía. En suelos profundos, se observó un efecto perjudicial sobre el tamaño de la fruta en la cosecha, cuando el período del estrés hídrico relevado (después del período deficitario en la etapa II) se extendió durante varias semanas, siendo esta tendencia minimizada cuando este período no demoró más de tres semanas. Períodos cortos de recuperación en suelos profundos, se asociaron con altos potenciales hídricos en los tallos al final de los períodos de déficit de irrigación. En suelos superficiales, la recuperación del estatus hídrico ocurrió después de una semana de completa irrigación: el manejo del estrés hídrico no representó entonces un problema durante la etapa II. Sin embargo, durante la post cosecha, los suelos superficiales presentaron el problema de un rápido desarrollo del estrés hídrico. En esos casos, tienden a ocurrir severos estreses hídricos y la densidad de floración y/o cuajado de la fruta, puede ser sustancialmente reducida durante la siguiente estación. La posibilidad de incrementar los valores de irrigación, debería ser considerada en suelos superficiales durante la post cosecha, cuando los potenciales hídricos de los tallos sean muy negativos (i.e. menos de $-2,0$ MPa) y en suelos profundos cuando se aproximen a $-1,5$ MPa (Marsal *et al.*, 2004).

2. BIBLIOGRAFÍA

- Baccino Giannetto G, García Petillo M. 1995. Efecto de dos momentos de riego y dos manejos del suelo en el rendimiento y la calidad del duraznero cv. "Rey del Monte". Boletín de Investigación N° 46. Universidad de la República, Facultad de Agronomía. 24 p.
- Begg J E, Turner NC. 1970. Water potential gradients in field Tobacco. *Plant Physiology*. 46: 343-346.
- Behboudian MH, Dixon J, Pothamshetty K. 1998. Plant and fruit responses of lysimeter-grown "Braeburn" apple to deficit irrigation. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 73 (6): 781-785.
- Berman ME, DeJong TM. 1997. Diurnal patterns of stem extension growth in peach (*Prunus persica*): temperature and fluctuations in water status determine growth rate. *Physiologia Plantarum*. 100 (2): 361-370.
- Berman ME, DeJong TM. 1996. Water stress and crop load effects on fruit fresh and dry weights in peach (*Prunus persica*). Heron Publishing-Victoria, Canada. *Tree Physiology*. 16: 859-864.
- Besset J, Génard M, Girad T, Serra V, Bussi C. 2001. Effect of water stress applied during the final stage of rapid growth on peach trees (cv. Big-Top). Amsterdam: Elsevier Science B. V. *Scientia Horticulturae*. 91(3/4): 289-303.
- Brady NC. 1984. *The Nature and Properties of Soils*. New York, Macmillan. 750 p.
- Bryla DR, Dickson E, Shenk R, Johnson RS, Crisosto CH, Trout TJ. 2005. Influence of irrigation method and scheduling on patterns of soil and tree water status and its relation to yield and fruit quality in peach. *Horticultural Science*. 40 (7): 2118-2124.
- Bryla, D. 2004. *Trials Find Drip Irrigation Most Efficient for Peach Trees*. Agricultural Research Initiative. California State University. Fresno, Ca. USA. 4 p.

- Bryla DR, Trout TJ, Ayars JE, Johnson RS. 2003. Growth and production of young peach trees irrigated by furrow, microjet, surface drip, or subsurface drip systems. *Horticultural Science*. 38 (7): 1112-1116.
- Campbell GS, Campbell MD. 1982. Irrigation scheduling using soil moisture measurements: theory and practice. En: Hillel, D.(Ed.). *Advances in Irrigation*. 1: 25-41.
- Caspari HW, Hossein M, Chalmers DJ. 1994. Water use, growth, and fruit yield of "Hosui" Asian pears under deficit irrigation. *Journal of American Society of Horticultural Science*. 119: 383-388.
- Chalmers DJ, Olson KA, Jones TR. 1983. Water relation of peach trees and orchards. T. T. Kozlowski (Ed.). New York, Academic Press. *Water deficits and plant growth*. 3: 197-232.
- Chalmers DJ, Wilson IB. 1978. Productivity of peach trees: Tree growth and water stress in relation to fruit growth and assimilate demand. *Annals of Botany*. 4: 285-294.
- Chalmers DJ, van den Ende B. 1975. A reappraisal of the growth and development of peach fruit. *Australian Journal Plant Physiology*. 2: 623-634.
- Cohen M. 1994. Funcionamiento hídrico y producción frutal del nogal en zonas semiáridas: Aplicación al manejo del riego. Memoria para optar al grado de Dr. Ing. Agr. Universidad de Lleida- Escola Técnica Superior d'Enginyeria Agraria. 29 p.
- Crisosto CH, Johnson RS, Luza JG, Crisosto GM. 1994. Irrigation regimes affect fruit soluble solids concentration and rate of water loss of 'O'Henry' peaches. *Horticultural Science*. 29: 1169-1171.
- Daniell JW. 1982. Effect of trickle irrigation on the growth and yield of "Loring" peach trees. *Journal of American Society of Horticultural Science*. 57 (4): 393-399.
- Day RK. 2002. *Tree Water Use. Orchard Notes*. University of California. Cooperative Extension. Tulare. Ca. USA. 30 p.
- Dichio B, Xiloyaniz C, Nuzzo B, Montanaro G, and Palese AM. 2004. Post

- harvest regulated deficit irrigation of peach tree in a Mediterranean environment: effects on vegetative growth and yield. *Acta Horticulturae*. 664: 169-174.
- Dobbs RC, Scott DRM. 1971. Distribution of diurnal fluctuations in stem circumference of Douglas-fir. *Canadian Journal of Forest Research*. 1: 80-83.
- Fereres E, Goldhamer DA. 2003. Suitability of stem diameter variations and water potential as indicators for irrigation scheduling of almond trees. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 78: 139-144.
- Fereres E, Goldhamer D, Cohen M, Girona J, Mata M. 1999. Continuous trunk diameter recording can reveal water stress in peach trees. *California Agriculture*. 53 (4): 21- 25.
- Ferreyra ER, Sellés VG, Lemus SG. 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. Chillán: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. *Agricultura Técnica*. 62 (4): 565-573.
- Ferreyra R, Sellés G. 2001. Riego deficitario controlado en uva de mesa. *Boletín INIA N° 60*. 41 p.
- Frecon JL. 2002. Best management practices for irrigating peach trees. New Jersey Agricultural Experiment Station. USDA. New Brunswick, N. J. USA. 8 p.
- García-Orellana Y, Ruiz-Sánchez MC, Alarcón JJ, Conejero W, Ortuño MF, Nicolás E, Torrecillas A. 2007. Preliminary assessment of the feasibility of using maximum daily trunk shrinkage for irrigation scheduling in lemon trees. *Agricultural Water Management*. 89: 167-171.
- García Petillo M, Puppo L, Morales P, Hayashi R. 2011. Respuesta de manzanos en alta densidad al estrés hídrico en el sur de Uruguay. XVI Congreso Mexicano de Irrigación. Culiacán, Sinaloa, México. Resumen pp. 6 (ISBN 978-607-715-011-4), publicación en extenso en CD (ISBN 978-607-715-010-7).

- Garnier E, Berger A. 1987. The influence of drought on stomatal conductance and water potential on peach trees growing in the field. *SC. Horticulture*. 32: 249-263.
- Garnier E, Berger A. 1986. Effect of water stress on stem diameter changes of peach trees growing in the field. *Journal of Applied Ecology*. 23: 193-209.
- Garnier E, Berger A, Rambal S. 1986. Water balance and pattern of soil water uptake in a peach orchard. *Agricultural Water Management* (in press).
- Génard M, Huguet JG. 1999. Modeling the effect of water supply on Peach growth and sugar contents. *Fruits (Paris)*. 54 (3): 191-196.
- Gensler W, Díaz-Muñoz F. 1983. Stem diameter variations in cotton under field condition. *Crop Science*. 23: 907-912.
- Girona J, Gelly M, Mata M, Arbonés A, Rufat J, Marsal J. 2005. Peach tree response to single and combined deficit irrigation regimes in deep soils. Amsterdam: Elsevier. *Agricultural Water Management*. 72 (2): 97-108.
- Girona J, Mata M, Arbonés A, Alegre S, Ruat J, Marsal J. 2003. Peach tree response to single and combined regulated deficit irrigation regimes under shallow soils. Alexandria: American Society for Horticultural Science. *Journal of the American Society of Horticultural Science*. 128 (3): 432-440.
- Girona J, Marsal J, Mata M, Arbonés A, Mata A. 2002. The combined effect of fruit load and water stress in different peach fruit growth stages (*Prunus persica* L.). Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS). *Acta Horticulturae*. 58: 149-152.
- Gispert JR. 2003. Evaluación del volumen de suelo húmedo en micro irrigación. Influencia del porcentaje de este volumen sobre el comportamiento del olivo (*Olea europea* L. cv. "Arbequina"). *Estudios de la zona no saturada del suelo*. 6: 51-57.
- Goldhamer DA, Fereres E. 2004. Irrigation scheduling of almond tree with trunk diameter sensor. *Irrigation Science*. 23: 11-19.

- Goldhamer DA, Fereres E, Salinas M. 2003. Can almond trees directly dictate their irrigations needs?. *California Agriculture*. 57: 138-144.
- Goldhamer DA, Fereres E. 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrigation Science*. 20: 115-125.
- Goldhamer DA, Salinas M, Anaya MS, Elvira AM. 2001. Peach trees perform similarly despite different irrigation scheduling methods. Oakland: Division of Agriculture and Natural Resources, University of California. *California Agriculture*. 55 (1): 25-29.
- Goldhamer DA, Fereres E, Mata M, Girona J, Cohen M. 1999. Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. *Journal of American Society of Horticulture. Horticultural Science*. 124: 437-444.
- Goldhamer DA, Kjelgren R, Moore JM, Lane J. 1985. Low volume sprinkler surface and subsurface distribution uniformity. *Proceeding of the III Intenational Drip/Trickle Irrigation Congress*. Vol. II. USA. pp.857.
- Gong D, Kang S, Zhang J. 2005. Responses of canopy transpiration and canopy conductance of peach (*Prunus persica*) trees to alternate partial root zone drip irrigation. *Hydrological Process*. 19: 2575-2590.
- Gospodinova M. 2007. The effects of water deficit at different phenological stages on productivity and fruit quality. Review. Sofia: National Center for Agrarian Science. *Agricultural Science (Selskostopanska Nauka)*. 40 (4): 12-23.
- Gospodinova M. 1997. Irrigation regime of regulated water deficit in peach drip irrigation. *Rasteniev”dni Nauki. Science Plant*. 34 (9/10): 114-118.
- Green SR, Clothier BE. 1999. The root zone dynamics of water uptake by a mature apple tree. *Plant and Soil*. 206: 61-77.
- Hanson RB, Orloff S, Peters D. 2000. Monitoring soil moisture helps refine irrigation management. *California Agriculture*. 54: 38-42.
- Hayashi R, Morales P, Puppo L, García Petillo M. 2012. Descripción y cuantificación de los bulbos húmedos en suelos de textura

contrastantes, con diferentes patrones de aplicación del agua de riego localizado. Tesis Maestría en Ciencias Agrarias. Universidad de la República, Facultad de Agronomía. Departamento de Suelos y Aguas, Grupo Disciplinario de Ingeniería Agrícola, Unidad de Hidrología. En imprenta.

- Hermoso JM, Torres MD, Farré JM. 2003. Proceedings V World Avocado Congress. 289-294. Holzapfel HE, Figueroa GG, Venegas VA, Matta CR. 1995. Requerimientos hídricos en manzanos adultos. *Agrociencia*. 11 (1): 49-54.
- Johnson RS, Phene BC. 2008. Fruit quality disorders in an early maturing peach cultivar caused by postharvest water stress. Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS). *Acta Horticulturae*. 792: 385-390.
- Karami F, Talaie A, Lesani H, Rasoolzade S. 2002. Effect of water stress on fruit characteristics of peach. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. Karaj: Faculty of Agriculture, University of Tehran. 3 (4): 749-754.
- Koumanov K, Hopmans JW, Schwanki LJ. 1997. Soil water dynamics in the a root zone of a micro-sprinkler irrigated almond tree. *Acta Horticulturae*. 664: 369-375.
- Kozlowski TT. 1972. Shrinking and swelling of plant tissues. En: T. T. Kozlowski. New York, Academic Press (Eds.). *Water Deficits and Plant Growth*. III: 1-64.
- Layne REC, Tan CS, Perry RL. 1986. Characterization of peach roots in Fox sand as influenced by sprinkler irrigation and tree density. *Journal of American Society of Horticulture Science*. 111: 670-677.
- Leteo J. 2007. Optimizing irrigation for agricultural water management: scientific principles. The National Academic Press. Washington, D. C. USA. *Agricultural Water Management: Proceeding of a Workshop in Tunisia*. 51-65.
- Li SH, Huguet JG, Bussi C. 1989. Irrigation scheduling in a mature peach Orchard using tensiometers and dendrometers. *Irrigation Drain*

System. 3: 1–12.

- López G, Behboudian MH, Vallverdu X, Mata M, Girona J, Marsal J. 2010. Mitigation of severe water stress by fruit thinning in 'O'Henry' peach: implications for fruit quality. Oxford: Elsevier Ltd. *Scientia Horticulturae*. 125 (3): 294-300.
- Lotter JDV, Beukes DJ, Weber HW. 1985. Growth and quality of apples as affected by different irrigation treatments. *Journal Horticultural Science*. 60: 181-192.
- Lowery B, Datiri BC, Andraski BJ. 1986. An electrical readout system for tensiometers. *Journal of American Society of Soil Science*. 50: 494-496.
- Mahhou A, DeJong TM, Shackel KS, Cao T. 2006. T(*Prunus persica* (L.) Batsch). Les Ulis; EDP Sciences. *Fruits (Paris)*. 61 (6): 407-418.
- Mahhou A, DeJong TM, Cao T, Shackel KS. 2005 Water stress and crop load effects on vegetative and fruit growth of "Elegant Lady" peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] trees. *Fruits*. 60: 55-68.
- Marsal J, López G, Girona J, Basile B, DeJong TM. 2005. Heterogeneity in fruit distribution and stem water potential variations in peach trees under different irrigation conditions. Ashford: Headley Brothers Ltd., The Invicta Press. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 80 (1): 82-86.
- Marsal J, López G, Mata M, Arbonés A, Girona J. 2004. Recommendations for water conservation in peach orchards in Mediterranean climate zones using combined regulated deficit irrigation. Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS). *Acta Horticulturae*. 664: 391-397.
- McBurney T, Costigan, PA. 1982. Measurement of stem water potential of young plants using a hygrometer attached to the stem. *Journal of Experimental Botany*. 3: 426-431.
- McFayden L M, Hutton RJ, Barow E W R. 1996. Effects of crop load on fruit water relation. As and fruit growth in peach. *Journal of Horticultural Science*, 71(3): 469-480.

- Meyer JP. 1980. Mesure des variations journalières de tronc d'avocatier come indicateur de stress hydrique. Note Interne de l'I.R.F.A., R.A. Document n° F. D. 21, 5 p.
- Mills TM, Behboudian MH, Clothier BE. 1996. Water relations, growth, and the composition of "Braeburn" apple fruit under deficit irrigation. *Journal of American Society for Horticultural Science*. 121(2): 286-291.
- Mitchell PD, Jerie PH, Chalmers DJ. 1984. The effects of regulated deficit irrigation on pear tree growth, flowering, fruit growth, and yield. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 109: 604-606.
- Mitchell PD, Chalmers DJ. 1983. A comparison of micro jet and point emitter (trickle) irrigation in the establishment of a high-density peach orchard. *Horticultural Science*, 1(3): 472- 474.
- Molz FJ, Klepper B. 1972. Radial propagation of water potential in stems. *Agronomy Journal*. 64: 469-473.
- Morales P. 2010. Efecto de diferentes patrones de aplicación del agua y porcentaje de volumen del suelo mojado en la respuesta vegetativa y productiva de árboles jóvenes de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch) cv. "Dixiland". Tesis Maestría en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República, Facultad de Agronomía. 71 p.
- Moreno F, Conejero W, Martín-Palomo MJ, Girón IF, Torrecillas A. 2006. Maximum daily trunk shrinkage reference values for irrigation scheduling in olive trees. *Agricultural Water Manage*. 84: 290-294.
- Moreno, F.; Ortuño, M.F.; García-Orellana, Y.; Conejero, W.; Ruiz-Sánchez, M.C.; Alarcón, J.J.; Fernández, J.E.; Martín-Palomo; M.J.; Torrecillas, A. 2005. En: CYTED México. Investigaciones sobre programación del riego en limonero y olivo mediante medidas directas y continuas del estado hídrico. 11 p.
- Moriana, A., Fereres, E., 2002. Plant indicators for scheduling irrigation of young olive trees. *Irrigation Science*. 21: 83-90.
- Morris JR, Katlan AA, Arrington EA. 1962. Response of Elberta peaches to

- the interactive effects of irrigation on pruning and thinning. Proceedings American Society Horticultural Science. 80: 177-189.
- Mounzer Oussama H. 2008. Programación del riego en melocotoneros (*Prunus persica* L.) mediante medición continua del status hídrico del suelo. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. Agrobiencia, 42 (8): 857- 868.
- Myburgh PA. 1996. Response of *Vitis vinifera* L. cv. Barlinka/Ramsey soil water depletion levels with particular reference to trunk growth parameters. South African Journal Enology Viticulture. 17: 3-14.
- Namken LN, Bartholic JF, Runkles JR. 1971. Water stress and stem radial contraction of cotton plants (*Gossypium hirsutum* L.) under field conditions. Agronomy Journal. 63: 623-627.
- Namken LN, Bartholic JF, Runkles JR. 1969. Monitoring cotton plant stem radius as an indication of water stress. Agronomy Journal. 61: 891-893.
- Naor A. 2006a. Irrigation scheduling of peach deficit irrigation at different phenological stages and water stress assessment. Acta Horticulturae. 713: 339-350.
- Naor AM. 2006b. Irrigation scheduling and evaluation of tree water status in deciduous orchard. Horticultural Reviews. 32: 111-116.
- Olien ME, Flore JA. 1990. Effect of a rapid water stress and a slow water stress on the growth of 'Redhaven' peach trees. Fruit Varieties Journal. 44 (1): 4-11.
- Ortuño MF, Conejero W, Moreno F, Moriana A, Intrigliolo DS, Biel C, Mellisho CD, Pérez-Pastor A, Domingo R, Ruiz-Sánchez MC, Casadesus, J.; Bonany, J.; Torrecillas, A. 2010. Could trunk diameter sensors be used in woody crops for irrigation scheduling? A review of current knowledge and future perspectives. Agricultural Water Management. 97: 1-11.
- Ortuño MF, García-Orellana Y, Conejero W, Pérez-Sarmiento F, Torrecillas A.,2009. Assessment of maximum daily trunk shrinkage signal intensity threshold values for deficit irrigation in lemon trees. Agricultural Water Manage. 96: 80-86.

- Ortuño MF, García-Orellana Y, Conejero W, Ruiz-Sánchez MC, Mounzer O, Alarcón JJ, Torrecillas A., 2006. Relationships between climatic variables and sap flow, stem water potential and maximum daily trunk shrinkage in lemon trees. *Plant Soil*. 279: 229-242.
- Pagán R, Pérez A, Nortes PA, Egea G, Domingo R. 2007. Programación de riego deficitario en almendro con dendrómetros. Optimización del uso del agua. XXV Congreso Nacional de Riegos. Pamplona. España. pp. 83-84.
- Passioura J. 1982. Water in the soil plant atmosphere continuum. *Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, Vol. 12 B. Physiological Plant Ecology. II. Water relations and Carbon Assimilation* Ed. By O. L. Lange, P. S. Nobel, C. B. Osmond and H. Ziegler. Springer Verlag, Berlin. pp. 5-33.
- Pizarro F. 1990. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, micro aspersión, exudación. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa: 471 p.
- Platineanu IC, Starr JL. 1997. Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: Laboratory calibration. *Soil Science Society American Journal*. 61: 1576-1585.
- Polak A, Wallach R. 2001. Analysis of soil moisture variations in an irrigated orchard root zone. *Plant and Soil*. 233: 145-159.
- Powell DBB. 1974. Some effects of water stress in late spring on apple trees. *Journal of Horticultural Science*. 49: 257-272.
- Quezada C, Venegas A, García H, Ocampo J. 2005. Frecuencia de reposición hídrica en olivos (*Olea europaea* L.) bajo riego por goteo en un suelo franco arcilloso. *Agro Sur*. 33 (2): 74-85.
- Rufat J, Arbonés A, Villar P, Doing X, Pacual M, Villa JM. 2010. Effects of irrigation and nitrogen fertilization on growth, yield and fruit quality parameters of peaches for processing. Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS). *Acta Horticulturae*. 88: 87-94.
- Ruiz-Sánchez MC, Girona J. 1995. Investigaciones sobre riego deficitario

- controlado en melocotonero. In: Riego deficitario controlado (Zapata M., Segura P., eds). Colección Cuadernos VALUE I, Mundi-Prensa/Unión Europea. pp. 69-95.
- Schölander PF, Hammel HT, Bradstreet ED, Hemmingsen EA. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*. 148: 339-346.
- So HB. 1979. An analysis of the relationship between stem diameter and leaf water potential. *Agronomy Journal*. 71: 675-679.
- Thorburn PJ, Cook FJ, Bristow KL. 2003. Soil dependent wetting from Trickle emitters: implications for system design and management. *Irrigation Science*. 22: 121-127.
- Vélez JE, Intrigliolo DS, Castel JR. 2007. Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage. *Agricultural Water Management*. 90: 197-204.
- Worrall J. 1966. A method of correcting dendrometer measure of tree diameter for variations induced by moisture stress change. *Forest Science*. 12: 427-429.