

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESTUDIO DEL POTENCIAL XILEMÁTICO EN RESPUESTA A TRES NIVELES
DECRECIENTES DE RIEGO EN MANZANO CULTIVAR GALA

por

Miguel DEMETRIUK

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2019

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Lucía Puppo

Ing. Agr. Raquel Hayashi

Ing. Agr. Pablo Morales

Fecha: 10 de diciembre de 2019.

Autor:

Miguel Demetriuk

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía por brindarnos los conocimientos para acceder a nuestra formación académica.

A la Directora Lucía Puppo, al personal de la Cátedra de Hidrología de la Facultad de Agronomía Pablo Morales y Raquel Hayashi, al personal de biblioteca Sully Toledo.

A mis padres que con su apoyo incondicional fueron fundamentales para poder realizar este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. LA PRODUCCIÓN DE MANZANOS EN URUGUAY.....	3
2.2. EL CULTIVO DE MANZANOS CON RIEGO EN URUGUAY.....	4
2.3. EFECTOS DEL RIEGO EN LA PLANTA.....	5
2.4. DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO LOCALIZADO.....	9
2.5. ESTIMACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN FRUTALES.....	10
2.6. MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO Y LA PLANTA.....	12
2.7. METODOLOGÍAS PARA MEDIR EL CONTENIDO HÍDRICO EN EL SUELO.....	12
2.8. METODOLOGÍAS PARA MEDIR CONTENIDO HÍDRICO EN LA PLANTA.....	16
2.9. EL POTENCIAL HÍDRICO.....	17
2.9.1. <u>Variaciones de potencial entre especies</u>	17
2.9.2. <u>El potencial xilemático</u>	19
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	22
3.1. UBICACIÓN DEL ENSAYO.....	22
3.2. MATERIAL VEGETAL.....	22
3.3. SUELO.....	22
3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	23
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	24
3.6 MANEJO DEL RIEGO.....	24
3.7 MEDIDAS DE HUMEDAD EN EL SUELO.....	25
3.8 VARIABLES CLIMÁTICAS.....	26
3.9 MEDIDAS DE POTENCIAL XILEMÁTICO.....	28
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	30
4.1. PRECIPITACIONES, RIEGO APLICADO Y ETc ESTIMADA.....	30
	IV

4.2. HUMEDAD EN EL SUELO.....	32
4.3. POTENCIAL XILEMÁTICO.....	34
4.4. RENDIMIENTO.....	39
5. <u>CONCLUSIONES</u>	41
6. <u>RESUMEN</u>	42
7. <u>SUMMARY</u>	43
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	44
9. <u>ANEXOS</u>	52

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Potencial xilemático a partir del cual las distintas especies comienzan a cerrar sus estomas.....	18
2. Descripción del perfil del suelo.....	22
3. Propiedades hídricas del suelo.....	23
4. Croquis del ensayo.....	24
5. Contenido promedio de agua en los primeros 20 cm de suelo.....	34
6. Modelos de regresión del Ψ_x en función del contenido de agua en el suelo, para cada fecha de medición.....	35
7. Número de frutos en la primera pasada.....	40
8. Rendimientos en kg. árbol ⁻¹	40
Figura No.	
1. Sensibilidad al estrés hídrico según procesos fisiológicos de la planta.....	8
2. Cambios diarios en el Ψ_h de distintas especies frutales....	18
3. Rectas de regresión ajustadas para la calibración de la sonda de neutrones para cada horizonte.....	25
4. Precipitaciones promedio mensual histórico INIA Las Brujas en mm. y precipitaciones de la temporada 2012-2013 en mm.....	26
5. Precipitaciones acumuladas semanalmente temporada	VI

2012-2013.....	27
6. ETo. temporada 2012-2013.....	27
7. Coeficientes de cultivo (Kc) utilizados.....	28
8. ETo, ETc, precipitaciones y riego para tratamiento más regado 2012-2013.....	31
9. Humedad del suelo 0-20 cm para los 3 tratamientos.....	32
10. Humedad del suelo 20-40 cm para los 3 tratamientos....	33
11. Humedad del suelo 40-70 cm para los 3 tratamientos....	33
12. Evolución del Ψ_x para la temporada 2012-2013.....	36
13. Potencial xilemático a lo largo del día.....	37
14. Potencial hídrico foliar a lo largo del día.....	38
15. Integral de estrés para los 3 tratamientos temporada 2012-2013.....	39

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo forma parte de la investigación realizada por la Unidad de Hidrología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República y fue llevado a cabo en un monte de manzanos de 7 años del cultivar Gala ubicado en el Centro Regional Sur (56°13 W 34°36 S) que se encuentra en la localidad de Progreso en el departamento de Canelones, Uruguay.

En el contexto actual de la producción frutícola de hoja caduca del país la implementación de un buen sistema de riego es fundamental tanto para alcanzar buenos rendimientos y calidad de fruta como para aprovechar al máximo los escasos recursos hídricos con los que se cuentan en la mayoría de los predios. A su vez un buen manejo del riego permitirá el uso eficiente del recurso para mantener la producción sostenible en el largo plazo evitando la contaminación de las fuentes de agua.

Son cada vez más comunes los periodos de escasez de lluvias o eventos que no son suficientes para cubrir las necesidades en momentos críticos del cultivo por las condiciones climáticas que generalmente se dan en la época estival en el Sur del país en los departamentos de San José, Canelones y Montevideo rural donde se concentra la producción de hoja caduca siendo prácticamente inviable el cultivo en secano.

La situación se agrava porque la mayoría de las explotaciones no cuenta con fuentes adecuadas de agua de riego, muchas veces con altos contenidos de sales, bajos caudales y sistemas de riego mal diseñados y/o utilizados.

Conocer el estado hídrico de las plantas en los diferentes momentos del ciclo de producción es fundamental para administrar el agua de riego y hacerla disponible en los momentos críticos del cultivo. Esto cobra importancia por el hecho de que con un estrés hídrico moderado aplicado en fases claves del ciclo se tienen respuestas diferentes en el desarrollo vegetativo y reproductivo. A través de la regulación del suministro de agua se puede controlar el crecimiento vegetativo y favorecer el desarrollo de los frutos obteniendo una mejora en la calidad de estos.

Existen métodos directos e indirectos para medir el estado hídrico de las plantas. El potencial xilemático (Ψ_x) medido con la cámara de presión o bomba de Scholander es el método directo más utilizado en la investigación.

Si bien la investigación en el área del riego a nivel mundial es mucha, a nivel nacional son pocos los estudios realizados para generar conocimientos locales de comportamiento de las plantas en respuesta a las condiciones hídricas de cultivo.

El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto del estatus hídrico medido a través del potencial xilemático en manzano cultivar Gala en respuesta a tres niveles decrecientes de aplicación de agua. Este estudio aportará información para ajustar el manejo del agua en esta especie a niveles menores al máximo requerimiento que no comprometan la producción.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 LA PRODUCCIÓN DE MANZANOS EN URUGUAY

El Uruguay por su latitud entre los 30 y 35 grados Sur se encuentra en una zona sub tropical templada, en el límite de la zona de cultivo de manzano. Algunas variedades de manzano no se plantan porque no llegan a cubrir sus requerimientos de frío, en otras hay que usar compensadores de frío en ciertos años y en la zona Norte del país es escaso el cultivo.

En el país llueven en promedio entre 1200 mm a 1600 mm anuales considerando Sur o Norte respectivamente. Se registran en promedio mínimos de 20 mm mes^{-1} y máximos de 250 mm mes^{-1} . El coeficiente de variación es cuatro veces superior si se toman los promedios mensuales con respecto a los anuales (Castaño et al., 2011).

La variabilidad se da tanto en el número de días con lluvia, en la magnitud de los registros (diarios y mensuales), así como en intensidad en milímetros de lluvia por hora. En el periodo estival según la demanda atmosférica local se puede presentar déficit y exceso simultáneamente en el territorio. Mientras una región acumula precipitaciones por encima de los valores esperados, otra sufre déficit importante en el mismo periodo.

La frecuencia de los sucesos extremos es cada vez mayor habiendo sequías que justifican la inversión en estructuras de riego (García Petillo et al., 2012).

La superficie frutícola ocupada por montes de hoja caduca en Uruguay es de 7363 hectáreas, el principal cultivo es el manzano con 3508 has. Las manzanas aportaron 52 de las 102 toneladas de frutos de hoja caduca producidas en la zafra 2009-2010 (MGAP. DIEA, 2010).

El rendimiento en promedio del 2001 a 2010 fue de 18,2 toneladas por hectárea (Zefferino et al., 2011). Son valores que se encuentran por debajo de los regionales comparados con el valle del Rio Negro en Argentina con producciones de 24,9 t ha^{-1} , Brasil con 27,9 t ha^{-1} y Chile con 36,7 t ha^{-1} (Bevilacqua, 2011).

El destino de la producción es: 81% consumo en fresco, 12% industria y 7 % exportación (MGAP. DIEA, 2010).

De las variedades cultivadas en el país el grupo de las Gala ocupa el segundo lugar después de las Red con un 24,8 % del total de plantas y casi un 20% de la producción, siendo la más importante de las bicolors (MGAP. DIEA, 2010).

La producción de manzanos está concentrada mayormente en el Sur del país, donde generalmente se encuentran suelos arcillosos y muchas veces con un horizonte eluvial que dificulta la infiltración y el crecimiento de las raíces en profundidad.

La densidad de plantación en Uruguay es en promedio 785 pl ha⁻¹ para el periodo 2001 al 2010 con una tendencia al aumento del número de plantas por hectárea. El cultivo se intensifica cada vez más por lo que se volvió común el uso de portainjertos de bajo vigor con sistemas radicales de poco desarrollo en los predios comerciales.

Por las condiciones climáticas, los suelos donde se cultiva, el destino de la producción y la intensificación que se viene dando en los últimos años contar con un buen sistema de riego es fundamental en el cultivo de manzano en Uruguay.

2.2 EL CULTIVO DE MANZANOS CON RIEGO EN URUGUAY

El 55% de la superficie cultivada con frutales de hoja caduca cuenta con riego instalado, donde se encuentra el 64% de las plantas. El riego está difundido mayormente entre los montes de manzanos y perales teniendo el 72 y 65 % de las plantas con riego respectivamente y en ambas especies se registró desde el 2007 un aumento continuo de la proporción de plantas regadas (MGAP. DIEA, 2010).

De los productores que tienen riego instalado en Uruguay la mitad se abastece de perforaciones o pozos y el resto utiliza fuentes de aguas superficiales. Esto provocó durante la zafra 2008-2009 donde las precipitaciones acumuladas fueron muy escasas, que el 65% manifestó que la disponibilidad de agua no fue suficiente en el periodo, afectando aún más a los que riegan a partir de aguas superficiales. A pesar de esto el 76% de los productores con riego instalado no realizó inversiones en infraestructura de riego (MGAP. DIEA, 2010).

Esta situación se viene dando hace varios años y si bien el área bajo riego aumenta, los productores tienen problemas con el manejo del riego. García Petillo et al. (2003) encontraron que los productores de la zona de Melilla manifestaban desconocimiento de cuando iniciar el riego y como dosificarlo, también detectaron limitantes en el dimensionamiento de los equipos utilizados y en las fuentes de agua como para lograr una cosecha diferencial en cantidad y calidad coincidiendo con estudios realizados por Romero y Severi (1995). Debido a lo antes mencionado y para lograr menores costos e impacto ambiental en la producción, el uso eficiente del agua es fundamental.

Casi la totalidad de los montes frutales regados en Uruguay cuentan con riego

localizado caracterizado por la alta frecuencia, generalmente riegos diarios y poco volumen de suelo mojado (Pizarro, 1990).

2.3 EFECTOS DEL RIEGO EN LA PLANTA

El riego se puede definir como el aporte artificial de agua a las plantas, complementario al aporte de las precipitaciones con el fin de suministrar la humedad necesaria para un óptimo desarrollo y aumento de la producción (Martínez, 2001).

Es ampliamente reconocido que la cantidad de riego aplicado a las plantas afecta el rendimiento como lo mencionan los autores Layne y Tan (1988), Ebel et al. (2001), García Petillo et al. (2003), Webster et al. (2003), Steduto et al. (2012). Éste efecto se puede producir en el tamaño de fruto, el número de frutos por planta o el rendimiento total.

Según Marsal et al. (2006) altas cargas de fruta en la planta resultan más sensibles al déficit hídrico que bajas cargas coincidiendo con lo expresado por Steduto et al. (2012).

A nivel nacional Morales (2004) concluyó que el riego aumentó el rendimiento en duraznero con respecto al secano en un 51%. El mayor rendimiento se debió al aumento del tamaño promedio del fruto y a la mayor cantidad de frutos por árbol.

García Petillo et al. (2003) en un ensayo de 6 años en predios comerciales de perales Williams identificaron un aumento del 38% en el rendimiento para el promedio de los años. En cambio en montes de manzano no encontró diferencias significativas en el rendimiento pero si una tendencia de aumento del 10% en los tratamientos regados, resultados que fueron atribuidos a que en los primeros años de ensayo el riego y las lluvias no cubrieron las necesidades del cultivo y en los últimos dos años el agua aportada por las lluvias cubrió la demanda de las plantas adecuadamente.

A nivel internacional Naor (1995) encontró debido al riego, aumentos en el calibre de fruta e incremento en la proporción de fruta de tamaño comercializable en cosecha temprana, sin embargo el rendimiento total fue similar.

En durazneros y nectarinos el riego deficitario durante el crecimiento de fruto condujo a aumentos de sólidos solubles y aumentos del ratio de estos con la acidez titulable. Estos parámetros se correlacionaron positivamente con el aumento del color de la piel y madurez precoz (Ruiz-Sánchez et al., 2010).

La firmeza de los frutos tiende a ser mayor en frutos más pequeños por la

mayor densidad celular. Esto determina que los tratamientos de riego que reduzcan el tamaño del fruto pueden aumentar la firmeza del mismo (Behboudian y Mills, 1997).

La influencia del déficit hídrico sobre el bitter pit genera controversia a nivel de investigación lo cual sea probablemente debido al momento fenológico en que se inicia la restricción hídrica (Behboudian y Mills, 1997).

Parra et al. (2009) no encontraron diferencias significativas en tratamientos con diferentes dosis de riego en manzanos hecho que interpretaron fue debido al alto coeficiente de variación (28,5%) normalmente encontrado en trabajos de campo con frutales.

En países con lluvias frecuentes los efectos debidos a los diferentes tratamientos de riego se ven igualados dando como resultado ensayos en los que no se distinguen las variables medidas como es el caso de Borba et al. (1993) sin diferencias significativas en parámetros vegetativos, reproductivos ni productivos en Uruguay.

Varios autores evaluando a través de diferentes parámetros de la planta como poda invernal, largo de brote, diámetro de tronco y volumen de copa, indican que el crecimiento vegetativo aumenta a medida que la disponibilidad de agua para la planta es mayor (Beukes y Weber 1982, Higgs y Jones 1990, Barros 1998).

López et al. (2008) realizaron una interesante investigación con el objetivo de observar si una disminución del riego podía afectar la intercepción de luz de las plantas del mismo modo que una poda de verano. Estos autores concluyeron que aunque los valores de intercepción fueron similares, los efectos fueron diferentes. En la poda de verano la disminución de la intercepción fue inmediata, derivó en un mejor estado hídrico del árbol y benefició el crecimiento del fruto. En cambio el riego deficitario tuvo una respuesta paulatina en la disminución de la intercepción que provocó una menor cantidad de agua destinada para el crecimiento del fruto.

En un estudio realizado por Calcetto et al. (2006) en manzanos jóvenes de la variedad Red Chief se concluye que el crecimiento vegetativo se vio favorecido con un óptimo nivel de agua disponible con valores cercanos a capacidad de campo del suelo, tratamiento que regó con el 50% de la ETc. En cambio el tratamiento más regado con 150% de la ETc tuvo exceso de humedad. Los autores sugieren que pudo haber una sobreestimación en la demanda hídrica del cultivo utilizada para manejar el riego. Esta estimación se realizó con el método propuesto por Allen et al. (1998), utilizando el coeficiente de cultivo (Kc) tabulado por FAO, lo que estaría expresando la necesidad de ajustar los coeficientes de cultivo para las condiciones locales.

El volumen de copa de árboles y el crecimiento de tronco no tuvieron diferencias significativas, la fecha de comienzo del riego tampoco introdujo diferencias en los distintos parámetros de crecimiento vegetativo evaluados (Calcetto et al., 2006). En este mismo trabajo el peso de poda invernal de árboles de manzano mantenidos a capacidad de campo fue un 40% mayor a los que no fueron regados coincidiendo con otros autores citados en el trabajo.

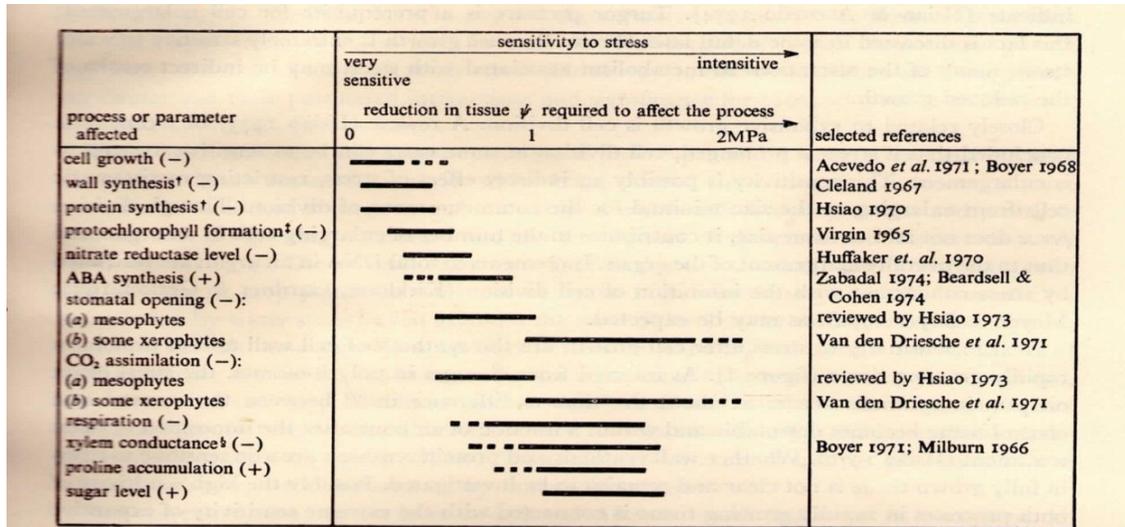
A su vez el secano tuvo el menor contenido de agua en el perfil en toda la estación, sin embargo no tuvo el menor crecimiento vegetativo como se esperaba. Los autores interpretaron que nunca se llegó a un nivel crítico de humedad en el perfil.

Fueron mencionados como factores que minimizaron las diferencias entre los tratamientos las precipitaciones ocurridas en el periodo del ensayo y el suelo arcilloso con alta capacidad de retención de agua que provoca que las raíces no se restrinjan al bulbo húmedo (Calcetto et al., 2006).

El efecto que el riego tiene en las plantas se acumula con el tiempo. En un estudio de 5 años el rendimiento total de árboles de manzano regados fue un 22.3% superior y el peso medio de fruto 21.5% superior al de las plantas no regadas (Treder y Czynczyk, 1997).

Como contraposición al efecto del riego se pueden observar los efectos del déficit hídrico. Estas respuestas pueden ser complejas e involucrar cambios deletéreos y/o adaptativos variando con la especie, genotipo, tiempo de exposición al déficit, severidad e incluso con el estado de desarrollo de la planta. En manzano se han publicado resultados contradictorios con respecto a la respuesta fisiológica al estrés hídrico (Parés, 2010).

Figura No. 1. Sensibilidad al estrés hídrico según procesos fisiológicos de la planta



Fuente: Hsiao et al. (1976).

En la figura No. 1 se observa que el crecimiento de las células es el proceso más sensible al estrés hídrico y la apertura estomática presenta un grado menor de sensibilidad. La planta frente a un estrés hídrico detiene su crecimiento vegetativo sin dejar de asimilar CO₂ y acumular azúcar (Hsiao et al., 1976). En estas diferencias de sensibilidad se basan muchas estrategias de riego que intentan ahorrar agua o economizar en prácticas de cultivo como la poda en verde.

Hsiao y Acevedo (1974) reportaron que la asimilación de CO₂ y por lo tanto la acumulación de materia seca puede reducirse por efecto del estrés hídrico si las plantas tienen bajo índice de área foliar (IAF) y poca superficie foliar, en cambio el efecto puede ser mínimo en plantas con alto IAF y superficie foliar alta.

En especies caducifolias de clima templado un estrés hídrico moderado en la época de inducción floral aumenta la intensidad de la floración al año siguiente es un fenómeno que puede explicarse a través de un efecto indirecto de la disminución de la competencia entre el crecimiento vegetativo y el proceso de inducción floral (Sozzi, 2007). La inducción floral en manzano se da en primavera luego de la floración coincidiendo con el comienzo del crecimiento de los frutos (Castro y Rodríguez, 2004) y el periodo de mayor sensibilidad para los cultivares R. Gala, R. Chief y Braeburn es entre 7 a 21 días después de plena flor (Lobos y Yuri, 2006).

El anegamiento disminuye los niveles de oxígeno disponible en el suelo afectando la elongación, la formación y el mantenimiento de las raíces (Boyton y

Compton, citados por Olien, 1986). Según Childers y White, citados por Olien (1986) los niveles de fotosíntesis neta, respiración y de transpiración de árboles jóvenes se redujeron cuando fueron sometidos entre dos y siete días a anegamiento.

2.4 DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO LOCALIZADO

La agricultura de regadío es el mayor consumidor de agua dulce. Debido a ello en las últimas décadas los agricultores están enfrentando diferentes presiones para reducir el uso del agua de riego. Esto se debe a que se ha incrementado la demanda de agua de la población y otros sectores como el industrial, además de un cambio en el clima que provoca sequías cada vez más frecuentes. Esta situación obliga a los productores a cambiar el paradigma del riego convencional o riego sin limitaciones, donde el riego satisface la demanda total del cultivo con el objetivo de obtener el máximo rendimiento por unidad de tierra, por una estrategia de riego que maximice el beneficio económico neto. Esta última estrategia implica el mayor retorno económico por litro de agua aplicada (English, 2002).

El riego localizado entre otros beneficios para su utilización en la fruticultura, permite ahorrar agua por dos motivos: la disminución en las pérdidas en la conducción del agua hacia la parcela y la menor evapotranspiración con respecto al riego convencional en montes jóvenes. A medida que el monte crece va consumiendo la misma agua que un monte regado por un método de riego tradicional (superficie o aspersión total, Pizarro, 1990).

A su vez Fallahi et al. (2007) concluyen que el riego localizado en manzano logró altos rendimiento y calidad de fruta utilizando 38% menos cantidad de agua en comparación con el riego por aspersión por lo que es altamente recomendable utilizar riego localizado cuando escasea el agua.

El riego sin limitaciones consiste en regar el cultivo con el agua necesaria para que se desarrolle sin que el estado hídrico sea una limitante. Esta estrategia es la recomendada para plantaciones jóvenes donde el principal objetivo es que el cultivo desarrolle su máximo crecimiento y madure lo antes posible evitando cualquier déficit aunque sea en bajos niveles (Ruiz-Sánchez et al., 2010).

Riego deficitario continuo o sostenido (RD) es la aplicación de riego por debajo de los requerimientos máximos de evapotranspiración de las plantas durante toda la temporada de crecimiento (Feres y Soriano, 2007)

Al aplicar dosis inferiores a las demandadas por la planta se genera un estrés progresivo que se manifiesta en el estado hídrico de las plantas. Es una estrategia

práctica y sencilla de aplicar. Según Parés (2010) la influencia del RD aplicado en varios años consecutivos sobre los mismos árboles, desde plena floración hasta la recolección no repercutió negativamente sobre el crecimiento del fruto.

El concepto de riego deficitario controlado (RDC) fue introducido por Chalmers et al. (1981), se basa en disminuir el riego en etapas poco sensibles, generando un estrés moderado con el objetivo de reducir el vigor vegetativo en favor de la producción de fruta. Esta estrategia de riego permite un ahorro sustancial de agua y energía sin afectar la producción comercial.

En frutales de carozo, de curva de crecimiento doble sigmoidea, la aplicación del riego deficitario únicamente durante el endurecimiento del carozo ha permitido controlar con éxito el crecimiento vegetativo sin afectar sensiblemente la producción y la calidad de las cosechas (Chalmers et al. 1981, Marsal y Girona 1997, Ruiz-Sánchez et al. 2010).

Según Lakso (2003) la curva de crecimiento del fruto del manzano tiene un patrón que se asemeja a una curva sigmoidea simple, por lo que el fruto crece continuamente al mismo tiempo que se desarrollan los brotes. A su vez es una especie muy sensible al riego por lo que es difícil ejercer un control efectivo del desarrollo vegetativo sin afectar el crecimiento del fruto a través del riego deficitario controlado (Behboudian y Mills, 1997). Debido a esto el manzano es de las especies menos adaptables a condiciones de RDC porque un déficit en cualquier momento del crecimiento del fruto reduce el tamaño del mismo.

La desecación parcial del sistema radical es una estrategia de riego desarrollada por investigadores australianos en la que se riega la mitad del sistema radical de las plantas y se mantiene en secano la otra mitad para que la planta se mantenga bien hidratada pero con el estímulo del déficit hídrico que prioriza el desarrollo reproductivo (Loveys, 1991).

Debido al clima de Uruguay con lluvias frecuentes no se puede aplicar un riego deficitario parcial ni controlado estrictamente. Por otra parte la distribución de las precipitaciones hace que se presenten periodos de déficit hídrico entre los meses de diciembre y febrero que provocan disminución de rendimiento y/o pérdida de calidad de las cosechas en ausencia de riego.

2.5. ESTIMACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN FRUTALES

Las necesidades hídricas se estiman en base al nivel de la evapotranspiración de los cultivos (ETc). La evapotranspiración óptima es la que permite alcanzar el

crecimiento potencial del cultivo en el medio considerado, cuando se encuentra libre de enfermedades, sin limitación del nivel de humedad y fertilidad. Se expresa en mm dia^{-1} . Es una medida equivalente del consumo de agua de los cultivos y se puede calcular con la siguiente formula:

$$ET_c = ETo * Kc$$

La ETo o evapotranspiración de referencia es definida como el nivel de evaporación de una pastura extensa de gramíneas de una altura uniforme entre 8 y 15 cm en crecimiento activo que cubra completamente el suelo, libre de plagas y bien abastecida de agua (Doorenbos y Pruitt, 1990). Esta definición es más específica por Allen et al. (1998) teniendo como referencia un cultivo hipotético de altura de 12 cm, con una resistencia de superficie de 70 s m^{-1} y un albedo de 0.23.

El método Penman-Monteith es el método patrón internacional para la definición y cálculo de la ETo siendo el más frecuentemente utilizado en los últimos trabajos de investigación (Allen et al., 1998).

Obtenida la ETo se ajusta a la demanda del cultivo mediante un coeficiente de cultivo Kc (Allen et al., 1998). Para Uruguay se han ajustado los Kc de naranjo (García Petillo, 2002) y los de duraznero (Puppo y García Petillo, 2010) pero aún no se han estimado los de manzano.

En un estudio realizado en Vacaria Brasil sobre un monte de manzanos Royal Gala sobre M9 de 9 años a una densidad de $3289 \text{ plantas ha}^{-1}$ se estimó el Kc entre 0,19 y 0,88 con una media de 0,58 (Conceição et al., 2011), siendo estos valores inferiores a los recomendados por Allen et al. (1998) que sugieren valores entre 0,80 y 1,20 en condiciones de cobertura activa sin heladas.

En Uruguay el consumo de agua de un monte de manzanos adulto se estimó en 680 mm anuales para el promedio de 6 temporadas (García Petillo et al., 2003).

Para las condiciones del Valle del río Negro en Argentina ($39^{\circ} 01 \text{ S}$, $62^{\circ} 40 \text{ W}$, altitud 240 m.s.n.m.) se calculó un promedio de 565 mm en la temporada para un monte de 3 años (Requena, 2012).

La ETo de la estación del INTA Alto Valle para el año 2010 fue de 1178 mm anuales similar a los 1107 mm anuales de la estación INIA las Brujas.

2.6. MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO Y LA PLANTA

El agua se mueve en la planta impulsada por la diferencia de potencial hídrico hacia valores más negativos desde el suelo a la atmósfera. La teoría más aceptada que explica este movimiento propone que el agua forma un sistema continuo entre los distintos órganos de la planta. Cuando el agua pasa de estado líquido a gaseoso en los estomas de las hojas se genera un gradiente de potencial que es transmitido por la cohesión entre las moléculas y la tensión de la columna de agua hacia las raíces y el suelo (Pizarro, 1990).

El estado hídrico de la planta es resultante del balance entre la transpiración del agua de las hojas hacia la atmósfera y la absorción de agua por las raíces desde el suelo. Se evalúa a través del potencial agua o potencial hídrico de los tejidos de la planta. Éste parámetro expresa la capacidad del agua de realizar trabajo relativo en relación al agua pura. El movimiento del agua se da desde sitios con mayor potencial agua a sitios con menor potencial agua (menor capacidad de realizar trabajo o mayor disponibilidad de agua libre) hasta que se logre un equilibrio en el sistema (Sozzi, 2007).

2.7. METODOLOGÍAS PARA MEDIR EL CONTENIDO HÍDRICO EN SUELO

Para diseñar y realizar un manejo correcto del riego es necesario conocer los parámetros hídricos del suelo donde se desarrolla el cultivo. Es necesario conocer la lámina neta (LN) que se va a aplicar para cada cultivo en cada suelo. Esta depende de la profundidad del suelo explorado por las raíces, del abatimiento máximo permitido del agua del suelo (p) y de los parámetros hídricos del suelo capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y el agua disponible (AD). La fracción de agua fácilmente aprovechable se calcula multiplicando el agua disponible total por el valor p .

La CC se define como la cantidad máxima de agua que puede retener un suelo medida a las 48 horas después de una lluvia o riego que sature los macroporos de éste.

El PMP es el contenido de agua retenida a 15 Bar. El AD es el agua retenida entre CC y PMP, es la máxima cantidad de agua que una planta dispone para su absorción en un determinado perfil.

Éstos parámetros se pueden obtener en laboratorio con equipamiento adecuado, pero también se pueden determinar a campo con una precisión equivalente, teniendo

algunas precauciones metodológicas (García Petillo et al., 2010).

A medida que el nivel de agua disponible del suelo disminuye, es retenida por la matriz del suelo con mayor fuerza y será más difícil de extraer. Cuando el contenido de agua llega a un valor umbral p , la velocidad de ingreso de agua a las raíces es menor que la demanda atmosférica y el cultivo comienza a sufrir estrés (Allen et al., 1998). Este valor es propio de cada cultivo particularmente por su sistema radical y también depende de la demanda atmosférica, por lo que puede variar de 0,30 con alta demanda y en plantas con sistema radical escaso a 0,70 con baja demanda y sistemas radicales bien desarrollados.

En el caso del manzano como para muchos otros cultivos se utiliza un valor p de 0,50 para árboles con desarrollo radical de entre 1 a 2 metros de profundidad (Allen et al., 1998). Esta condición de desarrollo radical es muy diferente a la encontrada en los suelos diferenciados del Sur de Uruguay. Goñi (1997) en un estudio en cítricos con pie de trifolia, encontró la mayoría de las raíces absorbentes concentradas en los primeros 40 cm de suelo. Atkinson (1974), observó que los árboles de manzano injertados sobre M9 tienen la mayor actividad radical en los horizontes superficiales de 0 a 30 cm. Debido a que los montes en Uruguay están regados en su totalidad con riego localizado, el manejo de riego es de alta frecuencia dejando agotar valores de p bastante menores a 0,5.

Existen varios métodos para medir la humedad del suelo, los más comúnmente utilizados son: tacto, gravimétrico, reflectometría en el dominio del tiempo (T.D.R), reflectometría en el dominio de frecuencia (F.D.R) y sonda de neutrones.

El método del tacto fue utilizado por muchos años por investigadores y agricultores. Consiste en apretar la tierra en la palma de la mano con lo que se obtiene una estimación bastante aproximada del contenido de humedad (USDA, 2000).

Para determinar el contenido de agua directamente en el suelo el único método disponible es el gravimétrico. Consiste en tomar una muestra de suelo a profundidad deseada, determinar su peso con el contenido de agua en el momento del muestreo y llevarla a estufa a 105°C de temperatura hasta peso constante. La diferencia entre ambos pesajes dividido el peso seco de la muestra es el porcentaje de agua en base a peso seco.

Si se dispone del valor de la densidad aparente del suelo, se puede calcular el porcentaje en volumen de agua, multiplicando el porcentaje en peso por la densidad aparente.

El contenido porcentual volumétrico de agua en el suelo es equivalente a la

cantidad de mm de agua existentes en un espesor o profundidad del suelo de 10cm.

Para manejar el riego mediante balance hídrico se necesita tener expresada la humedad en el suelo en mm totales en la profundidad radical del cultivo. En esta misma unidad se expresaran las entradas (lluvia efectiva y riego neto) y salidas de agua (ETc). También hay que tener en cuenta que mm de altura de agua es exactamente igual a litros de agua por metro cuadrado de superficie.

Las principales limitaciones de este método son las siguientes:

- a. La destrucción del suelo, ya que las muestras se obtienen normalmente con taladro o calador. Lo engorroso de este método es que implica la extracción de numerosas muestras en varias fechas diferentes.
- b. El dato se obtiene por lo menos a las 72 horas del muestreo.
- c. Se necesita un pequeño laboratorio de apoyo donde llevar a cabo el secado y las pesadas de las muestras; esto restringe aún más la utilización del método (Durán, 2000).

Los instrumentos de medición TDR y FDR basan su método en medir la constante dieléctrica del suelo. Utilizan el principio de que la presencia de agua en el suelo hace más lenta la velocidad de propagación de una onda electromagnética. Entre más mojado el suelo más tiempo le toma a la onda magnética viajar por el suelo. Una de las limitaciones de estos equipos es que sus lecturas registran y abarcan solo un pequeño volumen de suelo que rodea a las guías o sondas (Martín, 2010).

La sonda de neutrones ha sido utilizada extensamente en investigación para medir el contenido de humedad de los suelos. Este dispositivo contiene una fuente radioactiva que emite una cierta cantidad de neutrones rápidos. Estos neutrones son aproximadamente del tamaño de un átomo de hidrógeno que es componente esencial del agua. Cuando los neutrones rápidos chocan contra los átomos de hidrógeno se vuelven más lentos. Un detector dentro de la sonda contabiliza los neutrones lentos que regresan durante un periodo de tiempo predeterminado. La relación (ratio) entre neutrones lentos receptionados y neutrones rápidos emitidos (lectura estándar) se usa para estimar el contenido de hidrógeno del suelo (Martín, 2010).

En el suelo, la mayor fuente de hidrógeno es el agua, por lo que hay una estrecha relación entre la lectura de la sonda y el contenido de humedad del suelo. Sin embargo, el agua no es la única fuente de hidrógeno, especialmente en los suelos con un alto contenido de materia orgánica.

También es afectada la lectura por altas concentraciones de Cl, B, Fe, Cd, Li y Mo. Por lo anterior, la sonda debe ser calibrada para cada suelo y horizonte. El radio de influencia de la sonda es inversamente proporcional al contenido de agua en el suelo. En suelos húmedos la esfera de influencia es de 10 cm de diámetro en cambio en suelos secos es de hasta 50 cm (García Petillo, 2008).

Para la utilización de la sonda se necesita la instalación de tubos de acceso para bajar el sensor hasta las profundidades de interés para realizar las medidas. Los tubos de acceso deben estar sellados en el fondo para evitar la entrada de agua y en su extremo superior deben estar protegidos por una tapa. El material más utilizado para los mismos es el aluminio, pero debido a su alto costo, también se utilizan tubos de PVC (García Petillo, 2008).

Al tomar las medidas en el campo siempre se debe hacer primero una lectura estándar, debido a que la emisión de neutrones puede ser afectada por las condiciones climáticas, principalmente la temperatura. La lectura estándar siempre debe hacerse con el sensor dentro de la carcasa de la sonda y ésta siempre debe estar dentro de la caja protectora o sobre la misma de acuerdo a la indicación del manual.

Se debe verificar previamente a tomar las lecturas que el tubo de acceso esté sin agua de lo contrario se debe evacuar la misma, para evitar dañar el sensor, luego se toman las medidas de humedad para cada profundidad.

El tiempo de cada lectura se puede prefijar, en la medida que se utiliza un mayor tiempo la lectura es más precisa. Generalmente tiempos entre 8 a 30 segundos son utilizados en mediciones de rutina (García Petillo, 2008).

La calibración de la sonda debe realizarse cubriendo un amplio rango de humedad, desde condiciones de saturación hasta suelo muy seco. Se obtiene una relación lineal entre el ratio y la humedad del suelo determinada por el método gravimétrico (García Petillo, 2008).

Utilizar la sonda tiene como ventajas que se pueden tomar medidas en un mismo punto a lo largo del tiempo, por horizonte, es un método no destructivo en comparación con el método gravimétrico y es un método preciso si es correctamente calibrado. En comparación con FDR y TDR el volumen de suelo muestreado es mayor. Por su portabilidad se presta para múltiples puntos de medición, abarcando grandes superficies.

Este método tiene como desventaja que la lectura es manual, no puede utilizarse para automatizar el riego y es un equipo de alto costo. Además las medidas realizadas a menos de 15 cm de profundidad no son fiables, ya que se produce una fuga de neutrones en la interfase suelo-aire (Hillel, 2004). Debe ser calibrada para cada suelo y horizonte. Por contener material radioactivo el personal debe estar adecuadamente capacitado para su utilización (García Petillo, 2008).

El estatus hídrico de la planta está determinado tanto por la entrada de agua a la misma, dependiente del suelo y las condiciones de raíz, así como por la salida hacia la atmósfera que depende de las condiciones climáticas y de la planta. Por lo tanto solo la información del contenido de agua en el suelo no es suficiente para determinar el estatus de agua en la planta y su comportamiento (Hsiao, 1990). Debido a esto también es necesario conocer el contenido de agua dentro de la planta.

2.8. METODOLOGÍAS PARA MEDIR CONTENIDO HÍDRICO EN PLANTA

Para realizar un correcto manejo del riego es necesario conocer el estado hídrico de las plantas. Este parámetro es función de la transpiración, que puede ser estimada a través de la cantidad de agua que fluye dentro del tallo.

Los sensores de flujo de savia aplican una fuente de calor constante en la corriente de savia y miden la variación de la temperatura en las proximidades de esta fuente que fluctúa según el flujo que circula. Tienen la ventaja de ser automatizables, dan información en tiempo real de forma continua, son sensibles en riegos poco frecuentes pero son costosos y en riegos frecuentes con suelos cerca de capacidad de campo no son sensibles (López, 2013).

Los dendrómetros son sensores que miden microvariaciones del diámetro de tronco y permiten obtener registros continuos en forma automática de los cambios en el estado hídrico del árbol (Moriana y Fereres 2002, Ortuño et al. 2010). Las medidas de contracción máxima de tronco con dendrómetros y el flujo de savia fueron evaluadas como índices para programar el riego en árboles de oliva concluyendo que ambos métodos son robustos, confiables, adaptables a las medidas a campo, fáciles de operar y mantener, permiten coleccionar y transmitir datos automáticamente. Las desventajas de estos métodos son su difícil instalación, el alto costo de los equipos, tienen alta variabilidad entre árboles y demoran unos días en detectar déficit hídrico cuando se corta el riego por lo que no se recomiendan para riegos de alta frecuencia (Fernández, 2011).

La termometría infrarroja es un método que fue utilizado para estimar la transpiración y por lo tanto el estado hídrico de las plantas en manzano. El método

consiste en medir la temperatura del dosel del cultivo y otros parámetros ambientales que fueron utilizados para comparar plantas bien regadas con otras sin riego. A mayor temperatura del follaje, las plantas transpiran menos y presentan mayor estrés hídrico (Giuliani et al., 2001).

Un método rápido para medir estado hídrico en planta y que permite su uso en el campo es el de la cámara de presión (Scholander et al., 1964).

Este dispositivo consta de un recipiente en forma de tubo sellado de acero con un manómetro en su parte exterior que permite aplicar presión a una hoja o un brote pequeño mediante la inyección de gas nitrógeno. La hoja se coloca en su interior, con el peciolo hacia el exterior, a través de un orificio en un aro de goma. La cantidad de presión que se necesita para que el agua aparezca por el peciolo indica cuál es la tensión, o potencial hídrico del agua en la hoja. Un valor elevado de presión medido en la cámara corresponde a un valor alto de tensión y a un grado alto de estrés hídrico. Con la cámara de presión se puede medir tanto el potencial hídrico como el xilemático.

2.9. EL POTENCIAL HÍDRICO

El potencial hídrico en la planta (Ψ_h), es una medida de la energía a la que está retenida el agua y está basada en las leyes de la termodinámica (Boyer, 1995). Es consecuencia de la sumatoria de sus componentes: el potencial osmótico o soluto (π), que expresa la disminución de la capacidad del agua de realizar trabajo es causado por sales o azúcares en solución; el potencial mátrico (Ψ_m) es causado por los coloides en suspensión y las fuerzas capilares; el potencial de presión o turgencia (Ψ_p), es consecuencia de un exceso de presión en el interior de la célula; y el potencial gravitatorio (Ψ_g), expresa la diferente capacidad de realizar trabajo debido a la gravedad (Sozzi, 2007). Se puede medir en hoja (Ψ_h), o en tallo (Ψ_x).

Se puede representar al potencial hídrico bajo la siguiente fórmula:

$$\Psi_h = \pi + \Psi_m + \Psi_p + \Psi_g$$

El Ψ_h cambia significativamente a lo largo del día alcanzando los valores mínimos durante las horas de mayor insolación y temperatura, factores que aumentan la transpiración. Esta deficiencia hídrica interna de la planta se compensa durante las horas de menor insolación y temperatura alcanzando a la madrugada (pre-dawn) un equilibrio en el sistema suelo-planta-atmósfera, momento en el que es más adecuado comparar el estado hídrico de las plantas en distintas situaciones agroecológicas o de tratamientos de manejo del riego (Sozzi, 2007).

La medida de Ψ_h al mediodía debe realizarse con el menor lapso de tiempo

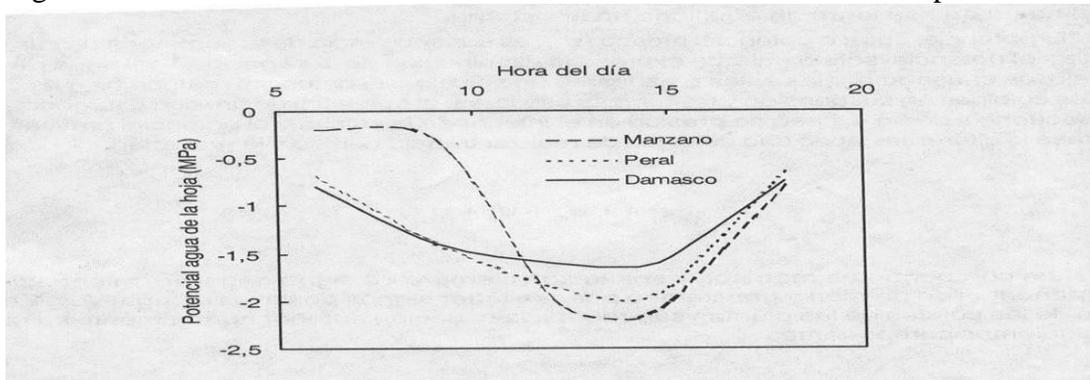
posible entre ellas porque el potencial varia a lo largo del día por lo que suelen utilizarse dos cámaras de Scholander al mismo tiempo como en el trabajo de Naor (1995).

2.9.1 Variaciones de potencial entre especies

El potencial hídrico de las hojas de los frutales suele ser muy bajo por ejemplo las hojas del níspero japonés bajo adecuadas condiciones de disponibilidad hídrica en España alcanza valores normales de -3,0 MPa durante el día mientras que el olivo llega a tolerar valores cercanos a los -10,0 MPa.

En manzano se observaron valores menores de Ψ_h en plantas injertadas sobre pie de bajo vigor en comparación con aquellas injertadas sobre patrón vigoroso, debido a la menor conductividad radicular al agua de los primeros (Sozzi, 2007). A su vez el manzano demostró tener menor control estomático que el peral y el damasco, alcanzando valores de Ψ_h más negativos.

Figura No. 2. Cambios diarios en el Ψ_h de distintas especies frutales



Fuente: Sozzi (2007).

Cuadro No. 1. Potencial hídrico foliar a partir del cual las distintas especies comienzan a cerrar sus estomas

Especie o grupo de especies	Valor umbral de Ψ_h para el cierre de estomas (MPa)
Manzano	-2,3
Peral	-3,1
Duraznero	-2,0
Vid	-0,9 a -1,6
Arándano	-2,2
Cítricos	-2,5

Fuente: Sozzi (2007).

En el cuadro anterior se aprecia que el manzano ajusta sus estomas con valores menores a -2,3 MPa medidos en hoja para arboles bien regados.

Según Hsiao (1990), el Ψ_h que provoca el cierre estomático varía según la especie y las condiciones de crecimiento. Este autor propone que el cierre estomático en muchos casos se da en un rango de entre -0,8 y -1,2 MPa y aclara que la apertura estomática es un indicador adecuado para conocer si el Ψ_h está más allá de un umbral de peligro para la planta pero no para conocer al detalle el nivel de agua en la planta.

El estrés provocado por el déficit hídrico además de tener efecto durante el transcurso del mismo, tiene un efecto supresivo en los estomas que persiste luego de recuperado el nivel de agua en la hoja. Este efecto negativo parece ser más o menos proporcional a la severidad del estrés y comienza a revertirse al primer día después de volver a regar, aunque la recuperación total puede tomar hasta 5 días (Hsiao, 1990).

2.9.2 El potencial xilemático

El potencial xilemático o de tallo (Ψ_x) permite evaluar el estado hídrico de la planta en general (McCutchan, 1992). El equipo comúnmente utilizado para medir el Ψ_x como se mencionó anteriormente, es la cámara o bomba de Scholander cuyos principales componentes son: una cámara de acero donde es presurizada la muestra vegetal, un balón cargado con gas a presión, generalmente N_2 , una llave de paso que permite la circulación de gas hacia la cámara, un manómetro para hacer las lecturas y llave para despresurizar la cámara luego de realizada la medición (García Petillo, 2008).

La medida se toma en el momento del día con mayor demanda atmosférica entre las 12:00 y las 15:00 horas evitando días nublados con poca demanda atmosférica. Se deben seleccionar hojas completamente desarrolladas, que no reciban luz directa del sol, en la parte media-baja del árbol siempre a la misma altura lo más cerca del tronco o de una rama líder para que la medida represente con mayor exactitud el estado hídrico de la planta (Schakel, 2003). Hojas expuestas al sol presentaron valores de Ψ_x más negativos que hojas expuestas a la sombra aun siendo bloqueada la transpiración antes de ser cortadas de la planta (Ferreya et al., 2007).

Antes de realizar las determinaciones, se cubre la hoja con un film impermeable para evitar la transpiración, y por encima del mismo se envuelve con papel de aluminio, para reflejar la radiación solar. El tiempo necesario para que el Ψ de la hoja se equilibre con el tallo varía según la especie, en duraznero se recomienda una hora (McCutchan, 1992), en palto 15 minutos (Ferreya et al., 2007), nunca menos de 10 minutos y si la hoja se mantiene seca sin daños no es problema que se mantenga cubierta por más tiempo (Schakel, 2003).

Una vez equilibrada la muestra, se corta la hoja de la planta con un suave tirón, luego se recorta con una navaja bien afilada el pecíolo para obtener un corte limpio y se coloca en la cámara dejando no más de 1 mm del pecíolo por fuera de la cámara (Schakel, 2003). Se mide inmediatamente sin quitarle las dos envolturas en un lapso que es preferible sea menor a un minuto (Ferreya et al., 2007).

Al momento que se coloca la hoja en la cámara, se comienza a presurizar la misma siendo deseable incrementos pequeños de presión hasta observar, ayudándose con una lupa, que el agua comienza a salir por el xilema del pecíolo de la hoja, éste instante corresponde al llamado “punto final” (Schakel, 2003). Los incrementos de presión podrían ser de $0,02 \text{ MPa s}^{-1}$ que son los correspondientes al menor valor de la escala del manómetro del instrumento. La lectura registrada al tiempo del punto final en el manómetro corresponde al potencial hídrico de la hoja. Luego de obtenida la lectura se debe despresurizar la cámara para continuar con una nueva medición y repetir nuevamente el procedimiento (García Petillo, 2008).

El Ψ_x de dos o más hojas del mismo árbol correctamente muestreadas debería mostrar el mismo valor con un margen de $0,02 \text{ MPa}$, así como hojas del mismo brote o del mismo spur deberían mostrar valores similares sin mayores diferencias a $0,03 \text{ MPa}$ (Schakel, 2003).

El Ψ_x es mejor estimador del estado hídrico de la planta que el Ψ_h porque al cubrir la hoja se bloquea la fotosíntesis y la transpiración, por lo que el potencial de la hoja se equilibra con el potencial del tallo que la sostiene siendo una medida menos variable con las condiciones ambientales de corto plazo que el Ψ_h (McCutchan 1992, García Petillo 2008).

Según Naor et al. (2006), son necesarias solo un tercio de las mediciones de Ψ_x para obtener un error similar al conseguido a partir de las medidas de los dendrómetros, por eso el Ψ_x es una buena medida para caracterizar el estado hídrico de las plantas.

Para medir el Ψ_x McCutchan (1992) trabajando en duraznero, realizó 6 medidas por tratamiento midiendo 2 hojas por árbol en 3 árboles diferentes, en cambio Nahor (1995) en manzano midió 10 hojas por tratamiento; dos hojas de árboles distintos en 5 repeticiones.

Varias especies de frutales de carozo en condiciones de riego frecuente presentaron valores de Ψ_x medido al mediodía entre $-0,5 \text{ MPa}$ a $-1,0 \text{ MPa}$ dependiendo del déficit de presión de vapor (Schakel et al., 1997).

En palto el Ψ_x de árboles bien regados medido al mediodía se mantuvo entre -0,40 y -0,50 MPa, para valores de déficit de presión de vapor de entre 1,4 y 3,0 kPa, respectivamente (Ferreira et al., 2007).

En un estudio nacional realizado en duraznero con diferentes patrones de mojado de suelo y regados al 100% de la ETc, no se detectaron diferencias significativas en el Ψ_h ni en el Ψ_x , pero si hubieron diferencias significativas entre todos los tratamientos con el secano. Los valores de Ψ_x en enero fueron de -1.54 MPa para árboles en secano a -0.93 MPa en árboles regados con 100% de ETc (Morales, 2010).

El Ψ_x estuvo altamente correlacionado con el flujo de savia, la conductancia estomática y el tamaño de la fruta. En tanto que el Ψ_h y el potencial de suelo presentaron menor correlación con estas variables (Naor, 1995).

Valores de Ψ_x inferiores a -1.3 MPa en manzano Golden Delicious fueron asociados a una reducción en el rendimiento y en el tamaño promedio de frutos. A partir de esta observación Naor et al. (1997) sugieren que si se agrega 0.1 MPa como factor de seguridad se podría utilizar un valor de -1.2 MPa como límite razonable para controlar el riego en el cultivo.

En un estudio realizado con 3 dosis de riego diarias y 3 niveles de carga de fruta en manzano, el Ψ_x disminuyó con el aumento de la carga de fruta en forma importante en el tratamiento con dosis más bajas de riego y no fue afectado en la dosis más alta de riego diaria (Naor et al., 2008).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL ENSAYO

El estudio se realizó en el Centro Regional Sur (C.R.S) de la Facultad de Agronomía Universidad de la República ubicado en Camino Folle Km 35,500 s/n en la localidad de Progreso departamento de Canelones con las coordenadas 56°13 W 34°36 S en la temporada 2012-2013.

3.2 MATERIAL VEGETAL

Se instaló el ensayo en un monte de manzanos cv. Royal Gala, plantado en agosto de 2006, injertado sobre pie M9, con manzanos cv. Fuji sobre pie M9 como polinizadoras, en un marco de plantación de 4 m entre filas y 1,25 m entre plantas (2000 plantas por hectárea). El sistema de conducción de las plantas fue líder central conducido en espaldera. El monte contó con cortinas rompe viento de casuarinas en todos sus bordes.

El cuadro se trató de igual modo para todas las plantas aplicando los criterios de manejo de suelo, fertilización y poda en base a pautas de manejo integrado. Se mantuvo la entrefila empastada realizándose cortes esporádicos con pastera rotativa, la fila fue tratada con herbicidas para mantenerla libre de malezas.

3.3 SUELO

Cuadro No. 2. Descripción del perfil de suelo de un Brunosol Éútrico típico

Horizonte A 0-25cm	Pardo oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2.5); franco limoso; bloques subangulares finos, fuertes, débilmente pegajoso, raíces abundantes, transición clara.
Horizonte B 25-42cm	Pardo muy oscuro (10YR2/2), franco arcillo limoso, bloques angulares gruesos, moderados, consistencia firme, plástico; películas de arcilla comunes y medianas, friables, raíces comunes, transición gradual.
Horizonte C 42-75cm	Pardo grisáceo (10YR 5/2), franco arcillo limoso, bloques angulares medios, moderados, plástico, películas de arcilla delgadas y grises que enmascaran el color de la matriz; concreciones de Fe y Mn, pocas, medianas y pequeñas, friables. Raíces pocas; transición gradual.

Horizonte Ck+75cm	Mezcla de colores: pardo oscuro (7,5 YR 4/2) y pardo (10,5/2); arcillo limoso, caras de deslizamiento, concreciones de CaCo ₃ pequeñas y duras, a veces pulverulentas.
-------------------	---

Fuente: Morales (2004).

Para obtener las propiedades hídricas se realizó una calicata y análisis de laboratorio obteniendo los resultados de la tabla a continuación.

Cuadro No. 3. Propiedades hídricas del suelo

Horizonte	Prof cm	CC mm 10 cm ⁻¹	CMP mm 10 cm ⁻¹	A.D mm 10 cm ⁻¹	A.D mm horz ⁻¹	D.Ap g cm ⁻³
A	0-25	33,11	18,88	14,23	35,75	1,12
B	25-42	38,28	21,60	16,68	28,36	1,36
BC	42-75	40,28	23,05	17,23	56,86	1,35

CC= Capacidad de Campo; CMP= Coeficiente de Marchitez Permanente A.D= Agua Disponible; D.Ap= Densidad Aparente.

Fuente: Morales (2004).

El contenido de agua correspondiente a capacidad de campo para los 75 cm de profundidad fue de 280 mm (37,3 % Vol.) y el coeficiente de marchitez permanente fue de 160 mm (21,3 % Vol. , Morales, 2004).

3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento contó con dos tratamientos de riego que consistieron en la aplicación de 2 niveles crecientes de estrés y un secano de la forma siguiente:

- Tratamiento 3 (sin estrés). Se regó con una dosis igual al 100% de la ETc estimada.
- Tratamiento 2 (estrés moderado). Se regó al 33% de la ETc estimada.
- Tratamiento 1 (estrés severo). No se regó nunca.

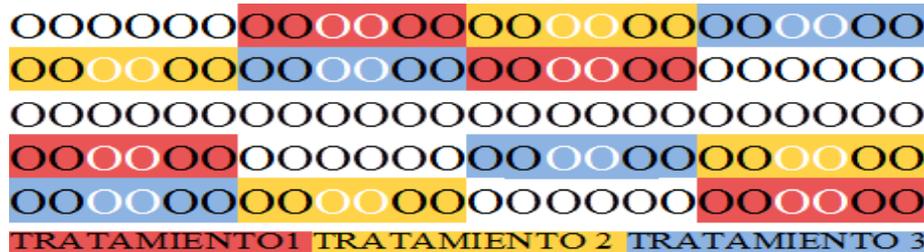
Las distintas dosis se lograron utilizando diferentes goteros y a distintas separaciones, de acuerdo al siguiente detalle:

Tratamiento 3 – Goteros de 1,92 l h⁻¹ separados a 0,4 m – 4,8 l h⁻¹ m⁻¹

Tratamiento 2 – Goteros de 2 l h^{-1} separados a $1,25 \text{ m}$ – $1,6 \text{ l h}^{-1} \text{ m}^{-1}$

Las parcelas fueron de seis plantas contiguas en la fila, evaluándose 3 hojas por planta de las dos plantas centrales, actuando las dos plantas de cada extremo como bordes. Se midieron las 4 parcelas por tratamiento para humedad del suelo y solo una parcela por tratamiento para los Ψ_h y Ψ_x .

Cuadro No. 4. Croquis del ensayo



3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La variable de respuesta fue analizada mediante el programa Infostat. Se realizó una regresión lineal utilizando el contenido de humedad del suelo como variable independiente y el Ψ_x como variable dependiente en las diferentes fechas en las que se realizaron las medidas.

Se efectuó el análisis de humedad del suelo por fechas, horizonte y por tratamiento. Se analizaron las tres profundidades del perfil del suelo y la suma de estas para cada fecha durante el periodo de estudio.

También se realizó una prueba de Tukey comparando las medias de los tratamientos para la variable rendimiento y número de frutos en dos pasadas y para la suma de estas dos pasadas. El día 24 de enero ocurrió un temporal que impidió terminar la cosecha al tirar la fruta que estaba en la planta al suelo.

3.6 MANEJO DEL RIEGO

La programación del riego se realizó semanalmente utilizando como referencia los valores de la ET_c obtenidos a partir de los datos de la estación climatológica del INIA las Brujas corregidos por los valores de K_c .

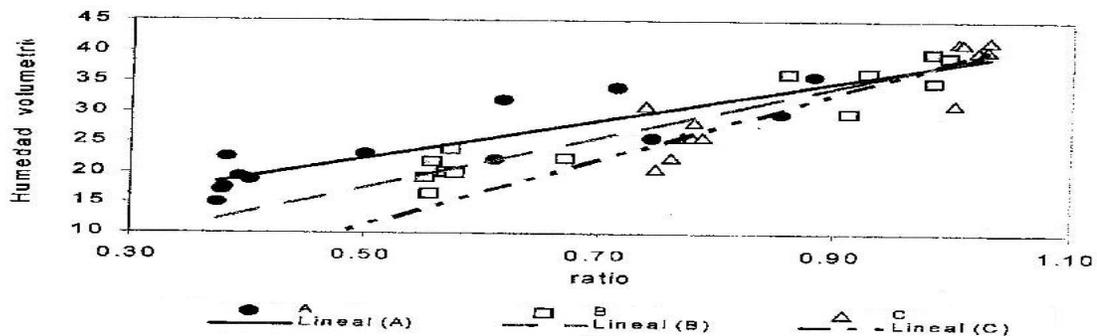
Los tratamientos de riego comenzaron a partir del 5/11 y todos los tratamientos se regaron durante el mismo tiempo.

3.7 MEDIDAS DE HUMEDAD EN EL SUELO

La humedad del suelo se midió con una sonda de neutrones marca CPN, modelo 503 DR Hydroprobe. Para ello se instalaron 12 tubos de acceso de aluminio de un metro de profundidad uno parcela, ubicados entre dos goteros y distanciados lateralmente a 20 cm de línea de goteros. Las medidas se realizaron a las profundidades de 20; 40; y 70 cm de profundidad con una frecuencia de una vez por semana previo al riego del día.

Las rectas de calibración correspondientes al suelo del ensayo fueron definidas por Morales (2004). Este investigador realizó la calibración con el método gravimétrico para cada una de las profundidades medidas siguiendo la metodología propuesta por Haverkamp (1984). Para ello tomó muestras alteradas en forma simultánea a la realización de las medidas con la sonda obteniendo pares de puntos para un rango de humedades amplio. Se obtuvo la humedad en base al peso seco de la muestra mediante secado en estufa a 105°C hasta que se alcanzó un peso constante y se multiplicó por la densidad aparente para obtener la humedad en base al volumen del suelo.

Figura No. 3. Rectas de regresión ajustadas para la calibración de la sonda de neutrones para cada horizonte



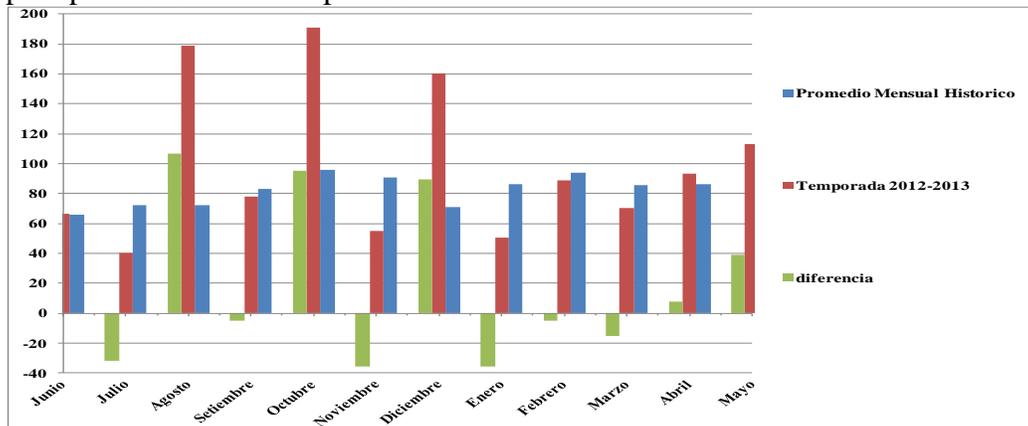
Fuente: Morales (2004).

Cabe mencionar que los coeficientes de determinación lineal R^2 para las rectas de calibración de la sonda de neutrones fueron de 0,76; 0,90; y 0,80 para los horizontes A, B y C respectivamente por lo que no fue necesario realizar una nueva calibración del método.

3.8 VARIABLES CLIMÁTICAS

A continuación se presentan las precipitaciones promedio histórico para la estación INIA Las Brujas.

Figura No. 4. Precipitaciones promedio mensual histórico INIA Las Brujas en mm y precipitaciones de la temporada

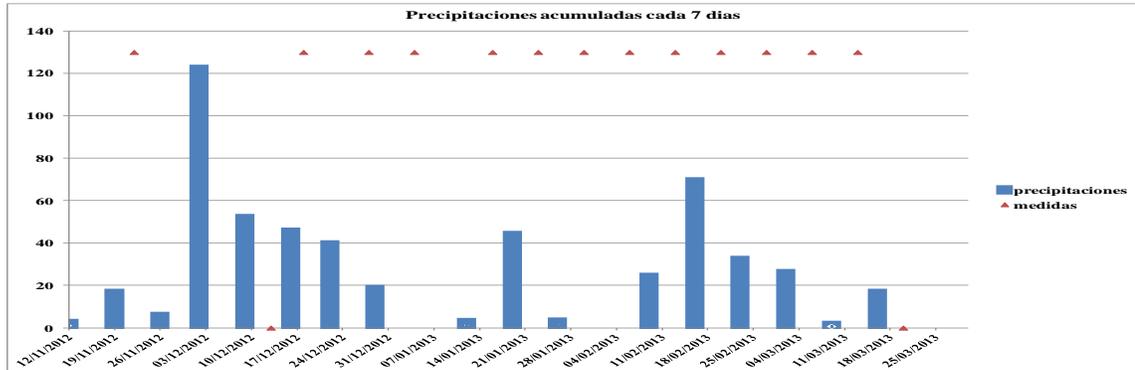


En la figura No. 4 se puede apreciar que en la primavera de la temporada en estudio se registraron lluvias que duplicaron el promedio mensual histórico en los meses de agosto y octubre. Luego en diciembre también ocurrieron lluvias con un valor que fue el doble del promedio mensual histórico.

En los meses de noviembre y enero se registraron lluvias que fueron de una magnitud en el entorno de 30% inferiores al promedio mensual histórico para la estación de INIA Las Brujas.

A continuación se presentan las lluvias acumuladas semanalmente y los días en que se realizaron las medidas para poder tener un mejor detalle de la cantidad de precipitaciones con las que contaba el cultivo al día de la medida.

Figura No. 5. Precipitaciones acumuladas semanalmente temporada 2012-2013

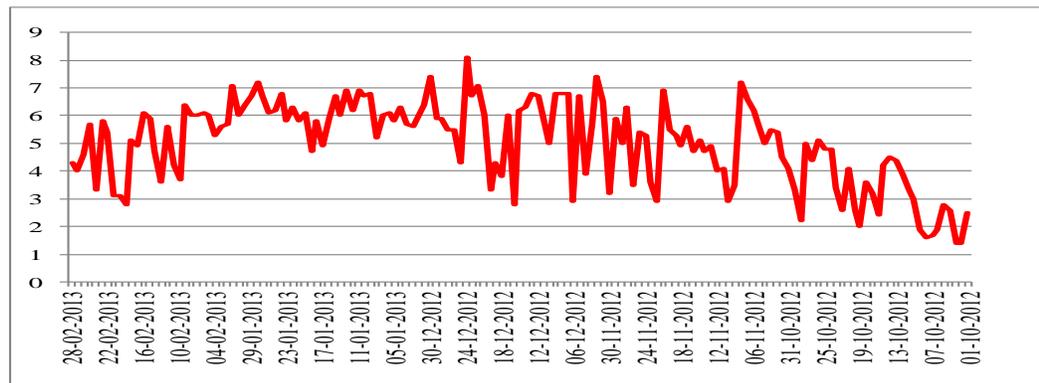


Las precipitaciones son las registradas en la estación INIA las Brujas

En la figura No. 5 se observan las precipitaciones acumuladas semanalmente donde se aprecia que en diciembre hubieron semanas con acumulados de más de 40 mm incluso una semana registro 120 mm lo que es casi la lluvia que ocurre en el mes promedio históricamente.

La ETo Penman-Monteith se obtuvo de los registros de INIA las Brujas por su cercanía al cuadro del ensayo. La ETo se estimó siguiendo la metodología propuesta por FAO (Allen et al., 1998).

Figura No.6. ETo temporada 2012-2013 en mm/día

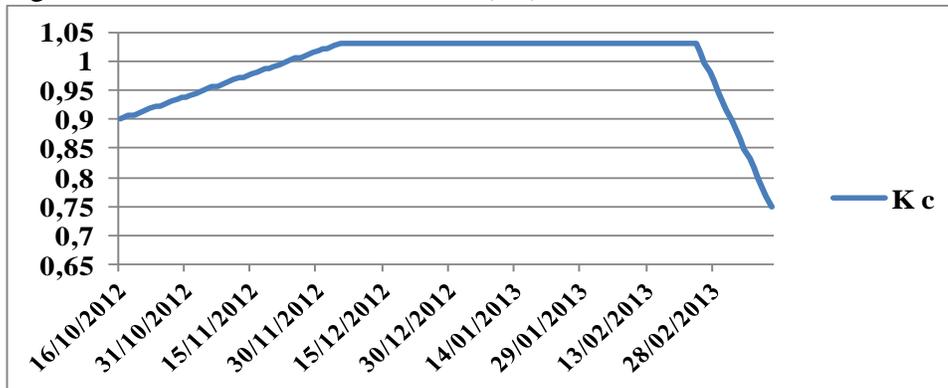


La ETo en la temporada en estudio fue aumentando hasta alcanzar un máximo a fines de diciembre, luego se mantuvo alta hasta principios de febrero cuando comenzó a descender.

Se calculó la evolución del valor del Kc partiendo de los datos tabulados por FAO para el manzano en condiciones de cobertura activa sin heladas fuertes: 0.8 inicial, 1.2 media estación y 0.85 final. Estos valores fueron modificados para adaptarlos a las

condiciones del cultivo teniendo en cuenta un riego localizado en el que se moja solo la fila de árboles con una alta frecuencia (Allen y Pereira, 2009) de este modo los valores utilizados fueron 0.9 inicial, 1.02 media estación y 0.75 final. El número de días para cada fase (rápido crecimiento, mediados de temporada y final de temporada) se ajustó a partir de las observaciones a campo de la evolución del follaje.

Figura No. 7. Coeficientes de cultivo (Kc) utilizados



3.9 MEDIDAS DE POTENCIAL XILEMÁTICO

La primera medida de Ψ_x se realizó el día 22 de noviembre debido a que el riego comenzó el 5 de noviembre. De esa forma se aseguró un efecto por parte de los tratamientos. La siguiente medida se realizó el 18 de diciembre y partir de ese momento las medidas se realizaron semanalmente hasta el día 13 de febrero cuando se dio por finalizado el ensayo.

Para medir el Ψ_x se utilizó una cámara de presión tipo Scholander marca Soil Moisture Equip. Corp. modelo 3005-1412, se cubrieron 3 hojas por planta en 2 plantas por tratamiento con bolsas de papel de aluminio 1 hora antes de realizar la medición siguiendo el procedimiento descrito por Schakel (2003) seleccionando hojas con una expansión foliar completa ubicadas en el centro del árbol cerca del tronco. El tiempo transcurrido desde el corte de la hoja hasta que se realizó la medida en todos los casos no superó los 2 minutos.

El día 04/01/2013 se midió Ψ_x a las 9:00, 12:00 y 16:00 horas para obtener la curva de evolución del Ψ_x a lo largo del día. Al mismo tiempo se realizaron medidas sin cubrir las hojas para observar el comportamiento del Ψ_h en el transcurso del día en las mismas horas. El clima durante el día fue de cielo despejado y soleado.

Para determinar el estrés acumulado en cada tratamiento se calculó la integral de estrés (S_{Ψ}) con los datos de Ψ_x según la fórmula propuesta por Myers (1988);

$$S_{\Psi} = \left| \sum_{i=0}^{i=t} (\Psi_{i,i+1} - c) n \right|$$

Donde $\Psi_{i,i+1}$ es la media de Ψ_x para cada intervalo $i,i+1$, y “c” es el valor máximo de Ψ_x medido en el ensayo y “n” número de días del periodo.

Para evaluar el rendimiento se contaron y pesaron los frutos de todas las parcelas de los diferentes tratamientos en dos pasadas de cosecha los días 16/1/13 y 22/1/13.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para facilitar la interpretación de los resultados se presentan en forma conjunta las precipitaciones ocurridas en el periodo, el riego aplicado y la ETc del cultivo (figura No. 8). La evolución de la humedad del suelo se presenta en las figuras 9, 10 y 11. La respuesta de la planta a la oferta y demanda hídrica queda descripta por el Ψ_x que se presenta en la figura No. 13.

4.1 PRECIPITACIONES, RIEGO APLICADO Y ETc ESTIMADA

Las lluvias registradas en la estación de INIA Las Brujas en el periodo de junio-octubre tienen un promedio histórico de 389 mm, en el mismo periodo del 2012 fueron de 554 mm, lo que representa un 42% por encima de la media. Esto determinó que los niveles de humedad del perfil del suelo en el periodo invierno-primavera se mantuvieron altos hasta entrada la estación de crecimiento, por lo que se comenzó a regar a partir del 5 de noviembre con 3 horas por día. En diciembre el registro de precipitación duplicó el valor promedio histórico, mientras que noviembre y enero registraron valores de un 30% por debajo del promedio histórico.

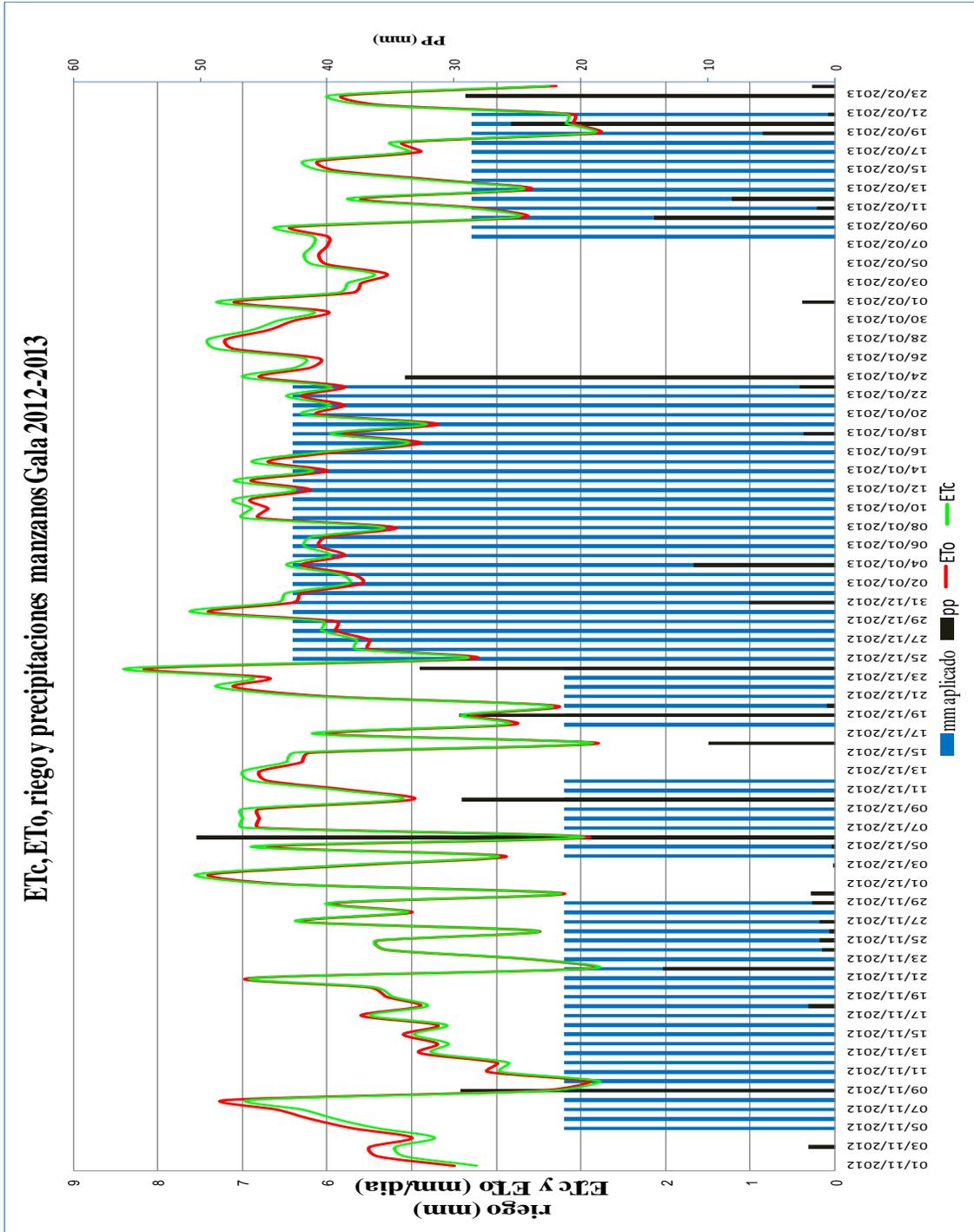
El total de la ETc para todo el ciclo del cultivo fue de 705 mm de los cuales 385 mm fueron cubiertos por riego en el tratamiento más regado, con la frecuencia que se detalla en la figura No. 8.

La diferencia entre ETc y riego fue cubierta por el agua almacenada en el suelo y la recarga realizada por el aporte de las lluvias. La ETc en el periodo en estudio fue en promedio de 5,34 mm día⁻¹ teniendo un mínimo de 1,82 el 19 de octubre y un máximo de 8,34 el 24 de diciembre.

Desde el comienzo del riego hasta el 23 de diciembre el promedio de la ETc estimada fue de 4,8 mm diarios, sin embargo se regó con 3,2 mm diarios, dado que las medidas de humedad en el suelo no indicaban un déficit de humedad acumulado en el tiempo. Desde el 24 de diciembre hasta el 24 de enero el promedio de ETc fue de 6,25 mm día⁻¹ y los riegos fueron de 6mm diarios. En el periodo entre el 8 de febrero y el 21 de febrero la ETc promedio fue de 4,8 mm diarios y los riegos fueron de 4,3 mm día⁻¹. En ambos periodos el riego se ajustó bien al consumo de la planta, lo que se constató con las medidas de humedad en el suelo.

Sin embargo los valores de ETc estimados fueron algo mayores al riego aplicado, sugiriendo que los Kc utilizados podrían sobreestimar ligeramente la demanda del cultivo.

Figura No. 8. ETo, ETc, precipitaciones y riego para tratamiento más regado 2012-2013



4.2. HUMEDAD EN EL SUELO

Durante el periodo en el que se llevó a cabo el ensayo se realizó el monitoreo de la humedad del suelo mediante sonda de neutrones CPN 503-DR Hydroprobe. El manejo del riego se realizó a partir de la estimación de la ETc corregida de acuerdo a las medidas de humedad del suelo.

La humedad del suelo se mantuvo cercana a la CC para los dos primeros horizontes en los dos tratamientos regados durante toda la temporada.

El tratamiento seco estuvo por debajo del valor de p durante los periodos desde el 28/11 al 15/12 y del 3/1 al 6/2 sin llegar a PMP en los 3 horizontes. Los valores de humedad más bajos en el seco correspondieron al periodo de mayor demanda atmosférica (del 3/1 al 6/2), donde la humedad del suelo descendió por debajo de p. Ésta condición es reportada como límite para el ajuste estomático de las plantas y podría indicar que el seco mantuvo niveles de estrés hídrico durante este período.

En el nivel más superficial del perfil se registraron las mayores diferencias en humedad del suelo entre tratamientos mientras que las diferencias fueron menores en el nivel más profundo del suelo por debajo de los 40 cm. Esto podría estar indicando que en los tratamientos regados las raíces se concentraron en los dos primeros horizontes y solo en el seco las raíces exploraron los 3 horizontes. En la figura No. 11 los tratamientos regados mantuvieron valores similares en la humedad del suelo a la profundidad entre 40 y 70 cm, mientras que el seco la humedad disminuyó progresivamente en el periodo de mayor demanda atmosférica. A partir del 13/3 las lluvias registradas y la baja en la demanda atmosférica revirtieron esta diferencia.

La estabilidad de la humedad en los tratamientos regados a esta profundidad podría indicar que los árboles no extrajeron agua a esta profundidad del suelo.

Figura No. 9. Humedad del suelo 0-20 cm para los 3 tratamientos

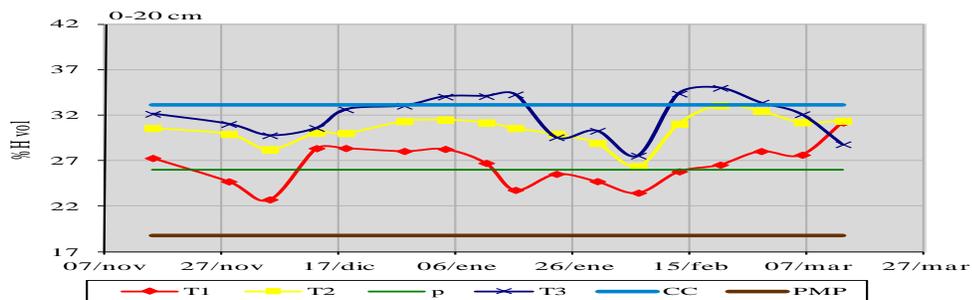


Figura No. 10. Humedad del suelo 20-40 cm para los 3 tratamientos

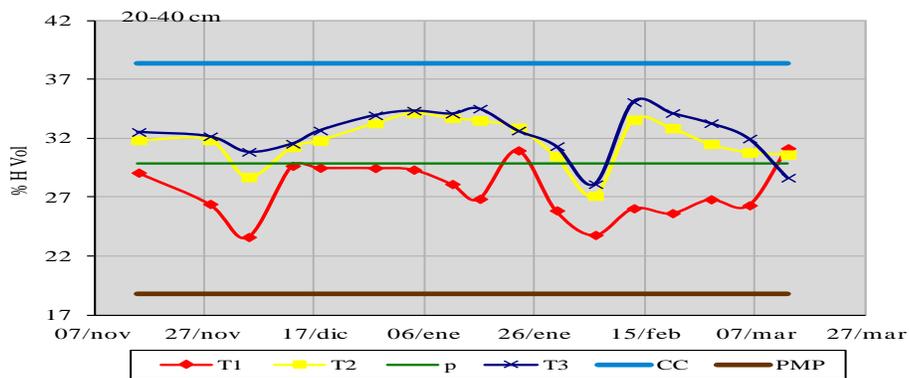
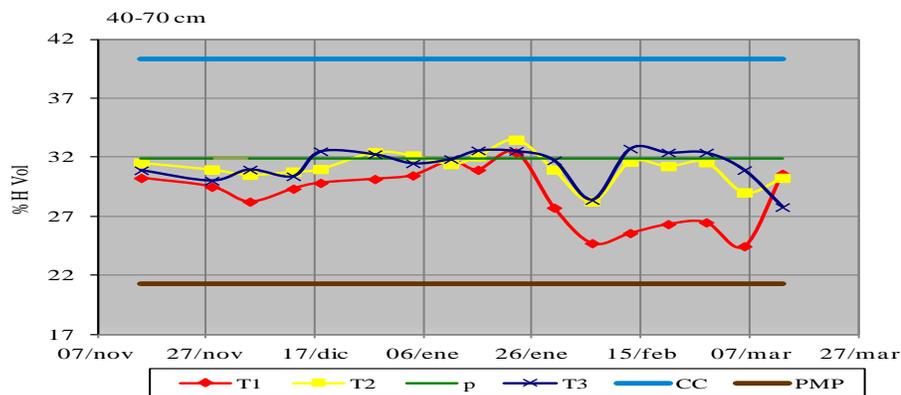


Figura No. 11. Humedad del suelo 40-70 cm para los 3 tratamientos



A continuación en el cuadro No. 5 se observa que el agua en el suelo tuvo diferencias significativas entre los tratamientos regados y también con el tratamiento secano en toda la temporada. Los tratamientos se ordenaron de modo creciente desde el secano al regado con el 100% de la ETC. Las medidas fueron promediadas por tratamiento en cada fecha y se utilizó esta como repetición para realizar un test de Tukey.

Cuadro No. 5. Contenido promedio de agua en los primeros 20 cm de suelo

Tratamiento (% de la ETc)	Agua en el suelo mm.20 cm-1
3 (100)	67,36 a*
2 (33)	60,21 b
1 (0)	56,79 c

* Las letras diferentes indican diferencia significativa por test Tukey con $p < 0,05$.

Cabe destacar que el año de evaluación correspondió al tercer año de aplicación de los tratamientos y pudo haber determinado la concentración de las raíces en el horizonte de 0 a 20 cm traduciéndose en una diferencia en el patrón de extracción entre el seco y los regados.

4.3. POTENCIAL XILEMÁTICO

En correlación con el Ψ_x se analizaron las tres profundidades del perfil del suelo y la humedad total del perfil para cada fecha durante el periodo de estudio. Se observó que la mayor correlación se dio con la humedad de los primeros 20 cm de suelo. Esto podría evidenciar que la mayor concentración de las raíces absorbentes podría estar en esta profundidad y de este modo el contenido de agua de este horizonte condicionó el Ψ_x .

En el siguiente cuadro se observan los coeficientes de la regresión para cada fecha.

Cuadro No. 6. Modelos de regresión del Ψ_x en función del contenido de agua en el suelo, para cada fecha de medición

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados 0 a 20 cm

fecha2	Variable	potencial (Mpa)	p-valor	R ²
18/12	0-20 cm	27,69	0,1300	0,14
28/12	0-20 cm	17,34	0,1695	0,11
04/01	0-20 cm	30,21	0,0001	0,61
16/01	0-20 cm	40,94	<0,0001	0,81
23/01	0-20 cm	-1,25	0,7751	0,01
30/01	0-20 cm	-2,83	0,8511	2,3E-03
06/02	0-20 cm	36,08	0,1085	0,15
13/02	0-20 cm	64,49	0,0733	0,19
20/02	0-20 cm	24,05	0,1677	0,12
27/02	0-20 cm	-0,63	0,9680	1,0E-04
06/03	0-20 cm	24,67	0,2317	0,09
13/03	0-20 cm	3,84	0,0002	0,63

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados 0 a 40 cm

fecha2	Variable	potencial (Mpa)	p-valor	R ²
18/12	0-40 cm	39,26	0,1984	0,10
28/12	0-40 cm	48,69	0,1148	0,15
04/01	0-40 cm	50,66	0,0081	0,36
16/01	0-40 cm	67,55	<0,0001	0,72
23/01	0-40 cm	-2,13	0,7645	0,01
30/01	0-40 cm	-19,27	0,4869	0,03
06/02	0-40 cm	48,00	0,3314	0,06
13/02	0-40 cm	106,47	0,1579	0,12
20/02	0-40 cm	37,59	0,2736	0,07
27/02	0-40 cm	-3,76	0,8439	2,5E-03
06/03	0-40 cm	33,84	0,1364	0,13
13/03	0-40 cm	29,69	0,0001	0,69

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados 0 a 70 cm

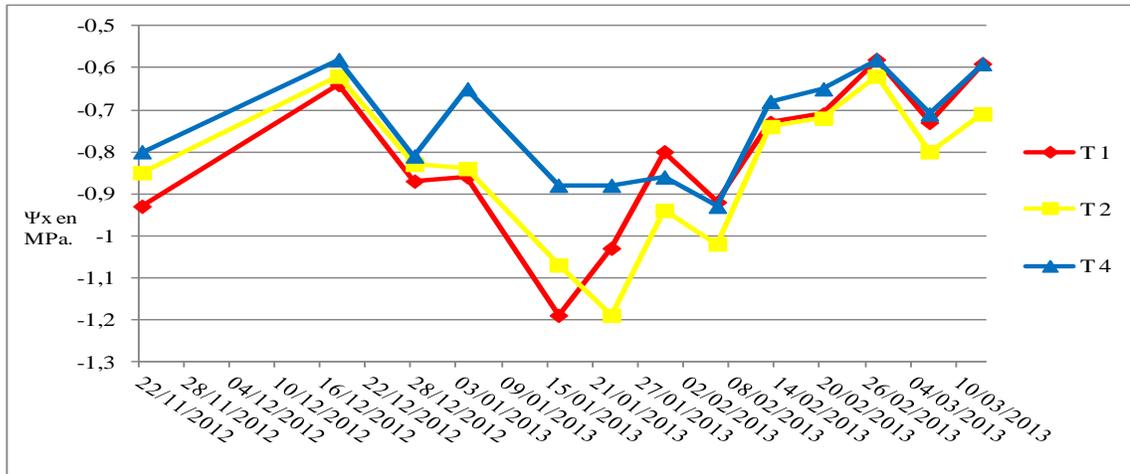
fecha2	Variable	potencial (Mpa)	p-valor	R ²
18/12	0-70cm	61,47	0,1449	0,13
28/12	0-70cm	56,60	0,1181	0,15
04/01	0-70cm	42,57	0,0448	0,23
16/01	0-70cm	54,08	0,0001	0,64
23/01	0-70cm	-6,39	0,4303	0,04
30/01	0-70cm	-24,54	0,4014	0,04
06/02	0-70cm	56,33	0,3404	0,06
13/02	0-70cm	130,73	0,2117	0,10
20/02	0-70cm	47,04	0,2317	0,09
27/02	0-70cm	-2,99	0,8820	1,4E-03
06/03	0-70cm	59,32	0,0566	0,21
13/03	0-70cm	96,17	0,0004	0,60

La mayor correlación entre las variables humedad del suelo y el Ψ_x se dio en los primeros 20 cm del perfil con p menores que 0.05 y R de 0,61, 0,81 y 0,63 en las fechas 4/1, 16/1 y 13/3 respectivamente. La correlación no mejoró al considerar la suma de la humedad de los horizontes a medida que aumenta la profundidad del suelo, por lo que se asumió que en el estrato de suelo de 0 a 20 cm es donde se da la mayor relación de intercambio de agua entre las plantas y el suelo.

El cuadro No. 6 muestra que las medidas realizadas los días 4/1 y 16/1 las variables Ψ_x y contenido de humedad del suelo tuvieron una buena correlación para el horizonte 0 a 20 cm. En este periodo se regó correctamente y hubo una alta demanda atmosférica. En la medida del día 28/12 los tratamientos pudieron haber sido afectados por una lluvia de 34 mm ocurrida el día 24/12 que enmascaró el efecto de los tratamientos de riego.

En la medida del 13/2 la correlación de la humedad del suelo con el Ψ_x no fue significativa (p valor 0.07) pero hubo una tendencia.

Figura No. 12. Evolución del Ψ_x para la temporada 2012-2013



El Ψ_x medido al mediodía se mantuvo entre valores de -0.58 y -1.2 MPa en toda la temporada, concordando con los resultados obtenidos por Hsiao (1990) para especies de hoja caduca. Se observó una tendencia en todos los tratamientos a registrar los valores más negativos en enero y valores mayores luego de la cosecha hacia el mes de febrero. Si bien la disminución de los potenciales coincide con la cosecha (se realizaron 2 pasadas antes del temporal) no se pudo comprobar que el efecto del aumento del nivel de agua en la planta sea directamente por haber cosechado los frutos. Las lluvias y la disminución de la demanda atmosférica explicarían mejor la disminución de los Ψ_x .

Debido a la ocurrencia de precipitaciones abundantes y a la interrupción del riego, el periodo donde los tratamientos fueron efectivos fue entre el 30/12 y 20/1. En este periodo se realizaron dos medidas en las fechas 4/1 y 16/1 donde las condiciones climáticas y de riego fueron óptimas para que se expresaran los efectos de los tratamientos.

En la medida del Ψ_x del día 4/1 los tratamientos se ordenaron como se esperaba de forma ascendente de mayor a menor estrés coincidiendo con la dosis de riego aplicada. Se observó que el tratamiento de secano fue el que presentó un mayor nivel de estrés llegando a -0,86 Mpa luego el tratamiento con 33% de ETc con -0,84 MPa y por último el tratamiento que presentó menor potencial xilemático fue el que se le aplicó 100% de la ETc con -0,65 MPa. El tratamiento bien regado nunca descendió por debajo de -0.93 MPa mientras que los tratamientos con estrés presentaron valores de -1.19 MPa entre el 16 y el 23 de enero.

El día 4/1 todos los tratamientos estaban por encima del valor p de humedad del suelo, en cambio en la fecha 16/1 solo el tratamiento más estresado presentó un contenido de humedad por debajo de p en el horizonte superficial lo que provoca una magnitud de estrés que implica cierre de estomas. Esto demuestra que potenciales por encima de -0.88 MPa indicarían plantas en confort hídrico mientras que -1.07 MPa indicarían estrés moderado y las plantas con estrés severo presentan valores iguales o inferiores a -1.19 MPa según las medidas de humedad registradas y el valor p 0.5 de tabla. Valores por debajo de -1.3 MPa fueron reportados por Naor et al. (1997) asociados a una reducción en el rendimiento y en tamaño promedio de frutos sugiriendo un valor de -1.2 MPa como límite para el control del riego en manzano. Sin embargo en las condiciones del ensayo las plantas que alcanzaron ese valor de -1.2 MPa tenían un nivel de agua en el suelo inferior a p. Los tratamientos regados nunca descendieron del valor p en toda la temporada en el horizonte superficial, mientras que el secano estuvo con un contenido de humedad por debajo de p entre el 28/11 y el 5/12 y entre el 16/1 y el 13/2.

Para observar el comportamiento diario del estado hídrico de las plantas se realizaron medias de Ψ_x a las 9:00 am, 12:00, y 16:00 pm el día 4/1. Al mismo tiempo se realizaron medidas de Ψ_h para observar el comportamiento de esta variable a lo largo del día. Con los resultados obtenidos se realizaron los siguientes gráficos.

Figura No. 13. Potencial xilemático a lo largo del día

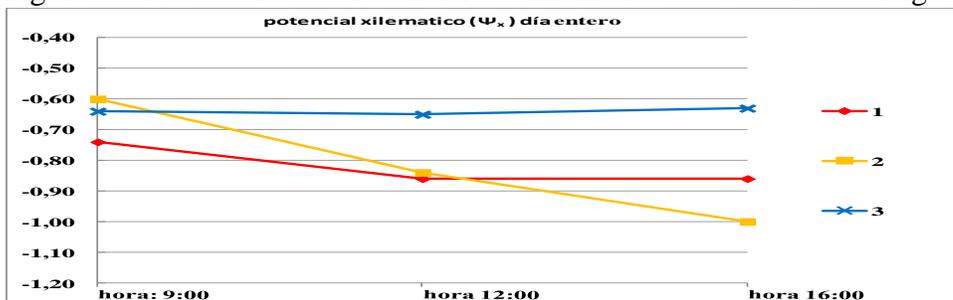
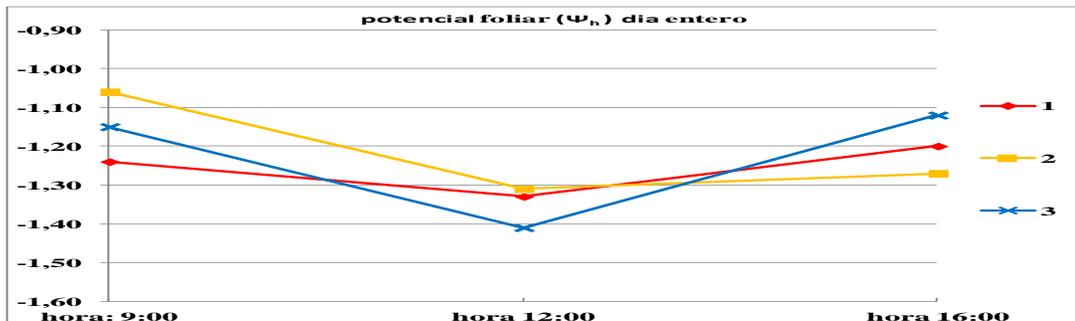


Figura No. 14. Potencial hídrico a lo largo del día

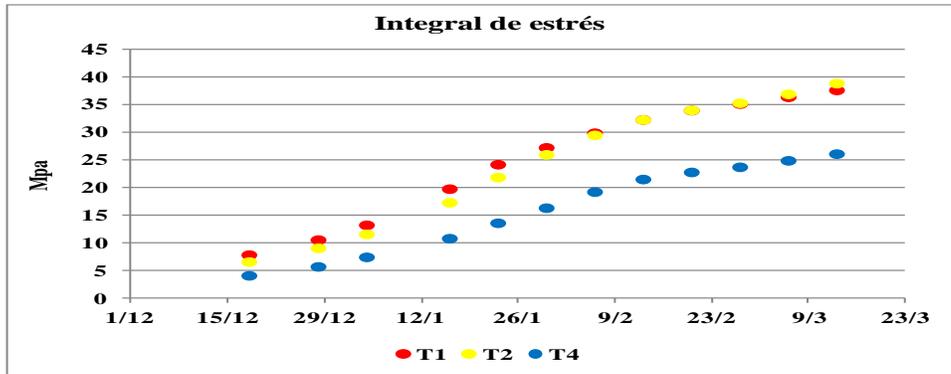


Los valores de Ψ_h fueron más negativos y con mayor variación que los de Ψ_x . Se puede observar que el Ψ_x del tratamiento mejor regado (figura No. 13) se mantuvo estable durante todo el día, sugiriendo nuevamente que este tratamiento estuvo bien regado.

En ésta gráfica (figura No. 13) el comportamiento del secano podría estar indicando que a partir del mediodía se produjo un cierre estomático importante que determinó que a partir de ese momento el estatus hídrico de la planta se mantuviera estático, mientras que el tratamiento menos regado (T2) no cierra tanto los estomas y continúa bajando su valor de Ψ_x .

La figura No. 15 muestra el integral de estrés que es una medida de la acumulación de déficit hídrico a lo largo de la temporada. Se puede observar que el tratamiento con 100% de la ET_c se mantuvo en toda la temporada con menos déficit y fue el que acumuló menor cantidad de estrés al fin de la temporada diferenciándose del tratamiento 33% que se comportó del mismo modo que el secano.

Figura No. 15. Integral de estrés para los 3 tratamientos temporada 2012-2013



4.4. RENDIMIENTO

Se realizó una prueba de Tukey comparando las medias de los tratamientos para las variables rendimiento en kg árbol^{-1} y número de frutos en dos pasadas y para la acumulación de estas al final de la temporada.

Si bien no pudo ser evaluado el total de la cosecha, en las dos pasadas realizadas el 16/1/13 y el 22/1/13 las variables de rendimiento no tuvieron diferencias significativas con 0.05 de significancia ni al 0.10, resultados que concuerdan con los obtenidos por Borba (1993), García Petillo (2003), Parra et al. (2009) que encontraron, como en este caso, una alta variabilidad en los resultados. Se observó una tendencia que los árboles más regados tuvieron mayor número de frutos y mayor rendimiento en kg por planta en comparación con el secano que a su vez tuvo menor número de frutos en la primer pasada (cuadro No. 7).

Los resultados de los análisis de varianza para la variable número de frutos indican que no existen diferencias significativas entre los tratamientos para ninguna de las fechas de cosecha ni para la cosecha total. Sin embargo existió una tendencia a que los tratamientos regados produjeron mayor número de frutos en la primera pasada y en el total cosechado.

Cuadro No. 7. Número de frutos en la primera pasada

Tratamiento	Medias
secano	11.15 a
100 %	21.00 a
33 %	21.90 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En cuanto al rendimiento en kg árbol^{-1} ocurrió lo mismo que con el número de frutos, tampoco hubo diferencias significativas pero se observó en los tratamientos más regados una tendencia a adelantar la cosecha y producir más kg árbol^{-1} como se observa en cuadro siguiente.

Cuadro No. 8. Rendimientos en kg árbol^{-1}

Tratamiento	Medias
secano	7.28 a
33 %	8.29 a
100 %	8.60 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En las variables que determinan el rendimiento tanto el número de frutos por árbol como los kg por árbol se observó que los datos tienen mucha dispersión.

5. CONCLUSIONES

El efecto del riego en la humedad del suelo se vio afectado por las abundantes lluvias. En los momentos que la lluvia no superó la demanda se pudo verificar que el riego tuvo efecto significativo en la humedad del suelo y consecuentemente en el estado hídrico de las plantas.

Las plantas bien regadas en las condiciones estudiadas se mantuvieron por encima del umbral p teórico en todos los horizontes por lo que no sufrieron estrés hídrico. La extracción de las plantas con riego se limitó a los primeros 40 cm de suelo.

El agua en el suelo del tratamiento secano estuvo por debajo del umbral p demostrando que esas plantas estuvieron estresadas durante gran parte de la estación de crecimiento. Estas plantas extrajeron agua por debajo de los 40 cm.

El Ψ_x es un buen indicador del estado hídrico de las plantas. En las condiciones estudiadas el Ψ_x se mantuvo entre -0.50 MPa y -1.2 MPa en toda la temporada, valores que concuerdan con los obtenidos por Hsiao (1990). En los periodos en que se constató un efecto significativo del riego en la humedad del suelo las plantas en confort hídrico tuvieron valores de Ψ_x igual o mayor a -0.88, las plantas con estrés moderado alcanzaron un valor -1.07 y las plantas con estrés severo presentan valores iguales o inferiores a -1.19 MPa.

Las plantas con mayor estrés hídrico acusaron un importante ajuste estomático a partir del mediodía, mientras que las que se encontraban en confort hídrico no evidenciaron cierre estomático según los valores de Ψ_x medidos a lo largo del día.

No se encontraron diferencias significativas en los rendimientos entre los tratamientos de riego en las primeras 2 pasadas de cosecha. En los arboles regados se observó una tendencia a presentar mayor cantidad de frutos por árbol, mayor cantidad de kg por árbol y adelanto en la cosecha (ver anexos).

6. RESUMEN

En un monte de manzanos cultivar Gala de siete años injertado sobre pie M9 y conducido en espaldera ubicado en Canelones, Uruguay, se evaluó el efecto del riego sobre el potencial xilemático (Ψ_x). Los tratamientos consistieron en 3 niveles decrecientes de riego: plantas regadas al 100% de la ETc (T3), plantas regadas a un 30% de la ETc (T2) y plantas a las que no se las regó en toda la temporada (T1). Los parámetros analizados fueron el Ψ_x , la humedad del suelo (H%) y el rendimiento en cosecha. El riego tuvo un efecto significativo en la H%. En las condiciones observadas el Ψ_x se mantuvo entre -0.50 MPa y -1.20 MPa en toda la temporada. En los períodos en que se constató un efecto significativo del riego en la H%, los árboles en confort hídrico tuvieron valores de Ψ_x igual o mayor a -0.88 MPa, las plantas con estrés moderado alcanzaron un valor de -1.07 MPa y las plantas con estrés severo presentan valores iguales o inferiores a -1.19 MPa. Las plantas en confort hídrico no demostraron cierre estomático durante el día, mientras que las plantas con mayor estrés hídrico acusaron un ajuste importante de sus estomas a partir del mediodía. No se detectaron diferencias significativas en los rendimientos entre tratamientos pero se observó una tendencia a presentar mayor cantidad de frutos por árbol, mayor cantidad de kg por árbol y adelanto en la cosecha en los árboles regados.

Palabras clave: Manzanos; Efecto del riego; Potencial xilemático.

7. SUMMARY

In an orchard of apples cv. Gala of seven years grafted in M9 root located in Canelones, Uruguay, the effect of irrigation on stem water potential (Ψ_x) was evaluated. Three treatments of irrigation were applied covering 100% of ETc (T3), 30% of Etc (T2) and unirrigated trees. The analyzed parameters were Ψ_x , soil humidity (H%) and yield. Irrigation had a significant effect in H%. On the studied conditions the Ψ_x was between -0.50 MPa and -1.20 MPa throughout all season. In the periods in which there was a significant effect of irrigation on the H%, trees well irrigated had values of Ψ_x equal or higher of -0.88 MPa, trees with moderated water stress had -1.07 MPa and those trees with severe stress had values of -1.20 MPa or less. Well irrigated trees do not show stomatal closure throughout day, while the trees with greater water stress showed a significant adjustment of stomas at midday. No significant differences were found in yield between treatments but there was a tendency to present higher numbers of fruits per tree, greater kg of fruit per tree and crop advanced in well irrigated trees.

Keywords: Apple tree; Irrigation effect; Stem water potential.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Allen, G. R.; Pereira, S. L.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Guidelines for computing crop water requirements. Rome, FAO. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper no. 56).
2. _____.; _____. 2009. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrigation Science*. 28: 17-34.
3. Atkinson, D. 1974. Some observations on the distribution of root activity in apple trees. *Plant and Soil*. 40: 333- 342.
4. Barros, F. B. 1998. Efecto del riego deficitario sobre el crecimiento vegetativo y el estado hídrico en manzano cultivar Scarlet. Tesis Ing. Agr. Santiago, Chile. Universidad Mayor. Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias. 109 p.
5. Behboudian, M.; Mills, T. 1997. Deficit irrigation in deciduous orchards. *Horticultural Reviews*. 21: 105- 131.
6. Beukes, D. J.; Weber, H. W. 1982. The effects of irrigation at different soil water levels on the water use characteristics of apple trees. *Journal of Horticultural Science*. 57(4): 383-391.
7. Bevilacqua, M.; Storti, L. 2011. Complejo frutícola; manzana y pera. (en línea). Buenos Aires, Ministerio de Economía y Finanzas Públicas. Secretaría de Política Económica y Planificación del Desarrollo. Subsecretaría de Planificación Económica. 44 p. Consultado 18 mar. 2015. Disponible en http://www.mecon.gov.ar/peconomica/docs/Complejo_pepitas.pdf
8. Borba, R.; De Morales, J. P.; Poses, S. 1993. Efecto de tres diferentes regimenes de riego por goteo sobre mandarinas de la variedad Satsuma. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 62 p.
9. Boyer, J. S. 1995. Measuring the water status of plants and soils. New York, Academic Press. 162 p.
10. Calchetto, J.; Campi, P.; Guerino, G. 2007. Respuesta a la aplicación de diferentes dosis y épocas de riego sobre el crecimiento vegetativo del manzano

(*Malus domestica* Borkh) cv. Red Chief. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 70 p.

11. Castaño, J. P.; Giménez, A.; Ceroni, M.; Furest, J.; Aunchayna, R.; Bidegain, M. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. Montevideo, INIA. 40 p. (Serie Técnica no. 193).
12. Castro, H.; Rodríguez, R. 2004. Raleo químico de frutos en cultivares no tradicionales de manzano en el Alto Valle del Río Negro, Argentina. *Fruticultura Profesional*. no. 143: 5-12.
13. Chalmers, D.; Mitchell P.; Van Heek. L. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning. *Journal of the American Society Horticulture Science*. 106: 307-312.
14. Conceição, M.; Nachtigall, G.; Cargino, C.; Fioravanço, J. 2011. Demanda hídrica e coeficientes de cultura (Kc) para macieiras em Vacaria, RS. *Ciência Rural (Santa Maria)*. 41(3). 459 -462.
15. Doorenbos, J.; Pruitt, W. 1990. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, FAO. 194 p. (Estudio FAO. Riego y Drenaje no. 24).
16. Ebel, R.; Proebsting, E.; Evans, R. 2001. Apple tree and fruit responses to early termination of irrigation in a semi-arid environment. *Horticultural Science*. 36: 1197-1201.
17. Fallahi, E.; Ratnaprabha, R.; Tripepi, R.; Bahman Shafii, B.; Fallahi, B. 2007. Tree Growth, Yield, Fruit Quality, and Mineral Partitioning in 'Pacific Gala' Apple as Affected by Rootstocks and Irrigation Methods. *International Journal of Fruit Science*. 7: 3-24.
18. Fereres, E.; Soriano, M. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*. 58(2): 147-159.
19. Fernández, J. E.; Cuevas, M. V. 2011. Using plant-based indicators to schedule irrigation in olive. *Acta Horticulturae*. no. 888: 207-214.
20. Ferreyra, R.; Selles, P.; Maldonado, J.; Celedón, Y.; Gil, P. 2007. Efecto del clima, de las características de la hoja y de la metodología de medición en el potencial hídrico xilemático en palto (*Persea americana* Mill.). *Agricultura Técnica (Chile)*. 67: 182-188.

21. García Petillo, M. 2002. Respuesta a diferentes manejos del riego y balance hídrico de un huerto de cítricos. Tesis Doctoral. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 194 p.
22. _____.; Puppo, L.; Romero, G.; Baccino, G. 2003. Respuesta al riego de duraznero, manzano y peral en montes comerciales. *Agrociencia* (Uruguay). 7(2): 49-61.
23. _____. 2008. Manejo del riego: uso de instrumentos de medición de agua del suelo y del estado hídrico de los cultivos, presentación de casos de estudio incluso en riego deficitario (en línea). *In: Jornadas sobre Ambiente y Riegos: Modernización y Ambientalidad* (2008, La Antigua, Guatemala). Memorias. Corrientes, UNNE. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. s.p. Consultado 11 jul. 2019. Disponible en <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Metodosdemedicionestadohidricoplantas.pdf>
24. _____.; Puppo, L.; Hayashi, R.; Morales, P. 2010. Curso de riego y drenaje: guía de clase. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 285 p.
25. _____.; Cánepa, P.; Ronzoni, C. 2012. Manual para el diseño y construcción de tajamares de aguada. Montevideo, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. 94 p.
26. Giuliani, R.; Magnanini, A.; Flore, J. A. 2001. Potential use of infrared thermometry for the detection of water deficit in apple and peach orchards. *Acta Horticulturae*. no. 557: 38–43.
27. Goñi, C. 1997. Estudio del sistema radicular de trifolia. *In: Reunión Técnica* (9^a, 1997, Salto). Avances de resultados. Montevideo, INIA. pp. 11-19 (Actividades de Difusión no. 155).
28. Haverkamp, A.; Vauclin, R.; Cachaud, G. 1984. Error analysis in estimating soil water content from neutron probe measurements: 1. Local standpoint. *Soil Science*. 137(2): 78-90.
29. Higgs, K. H.; Jones, H. G. 1990. Response of apple rootstocks to irrigation in south-east England. *Journal of Horticultural Science*. 65(2): 129-141.

30. Hillel, D. 2004. Introduction to environmental soil physics. New York, Elsevier. 494 p.
31. Hsiao, T. C.; Acevedo, E. 1974. Plant response to water deficits, water use efficiency, and drought resistance. *Agricultural Meteorology*. 14: 59 – 84
32. _____.; _____.; Fereres, E.; Henderson, D. W. 1976. Water stress, growth, and osmotic adjustment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 273: 479-500.
33. _____. 1990. Fisiología general. *In*: Curso Internacional de Manejo de Agua en Frutales (1º., 1990, Chillán). Fisiología general. Chillán, Chile, Universidad de Concepcion. Facultad de Ciencias Agronomicas, Veterinaria y Forestación. pp. 3-6.
34. Lakso, A. 2003. Water relations in apple. *In*: Ferree, D.; Warrington, J. eds. Apples, botany, production and uses. Oxon, UK, CABI. pp. 167- 194.
35. Layne, R. C.; Tan, C. S. 1988. Influence of cultivars, ground cover, and trickle irrigation on early growth, yield, and cold hardiness of peach on fox sand. *Journal of the American Society of Horticultural Science*. 113(4): 518-525.
36. Lobos, A.; Yuri, J. 2006. Inducción y diferenciación floral de cuatro cultivares de manzano en Chile. (en línea). *Agricultura Técnica (Chile)*. 66(2): 141-150. Consultado 10 may. 2018. Disponible en https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0365-28072006000200004&lng=es&nrm=iso
37. López, G.; Arbones, A.; Del Campo, J.; Mata, M.; Vallverdu, X.; Girona, J.; Marsal, J. 2008. Respuestas del melocotonero al riego deficitario controlado durante la fase II de crecimiento del fruto y a la poda de verano. *Spain Journal of Agriculture Research*. 6(3): 479-491.
38. López, R.; Ojeda, W.; López, A.; Catalán, E. 2013. Método de pulso de calor y flujo de savia para medirla transpiración en el cultivo de cacao. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 7(2): 85-96.
39. McCutchan, H.; Shackel, K. A. 1992. Stem-water Potential as a Sensitive Indicator of Water Stress in Prune Trees (*Prunus domestica* L. cv.

French). Journal American Society of Horticultural. Science. 117(4):607-611.

40. Marsal, J.; Girona, J. 1997. Relationship between leaf water potential and gas exchange activity at different phenological stages and fruit loads in peach trees. Journal of the American Society for Horticultural Science. 122: 415- 421.
41. _____; Lopez, G.; Girona, J. 2006. Recent advances in regulated deficit irrigation (RDI) in woody perennials and future perspectives. Australian Nutgrower. 20: 4-8.
42. Martin, E. C. 2010. Métodos para medir la humedad del suelo para la programación del riego, ¿cuándo? (en línea). Tucson, AZ, Universidad de Arizona. Colegio de Agricultura y Ciencias de la Vida. Extensión Cooperativa. 8 p. Consultado 15 oct. 2013. Disponible en <http://cals.arizona.edu/pubs/water/az1220S.pdf>
43. Martínez, F. 2001. Introducción al riego. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia. 200 p.
44. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2010. Encuesta frutícola: zafra 2009-2010. (en línea). Montevideo. 28 p. Consultado 11 jul. 2019. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuesta_fruticola_de_hoja_caduca_zafra_2009_-_2010_no294.pdf
45. Morales, P. 2004. Efectos del riego y fertirriego en duraznero cv. Forastero. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 73 p.
46. _____. 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 de Maestría en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la Republica. Facultad de Agronomía 71 p.
47. Moriana, A.; Fereres, E. 2002. Plant indicators for scheduling irrigation of young olive trees. Irrigation Science. 21: 83-90.

48. Myers, B. J. 1988. Water stress integral a link between short-term stress and long-term growth. *Tree Physiology*. 4: 315-323.
49. Naor, A.; Klein, I.; Doron, I. 1995. Stem water potential and apple size. *Journal of the American Society of Horticultural Science*. 120(4): 577-582.
50. _____.; _____.; _____.; Gal, Y.; Ben-David. Z.; Bravdo, B. 1997. Irrigation and crop load in relation to apple yield and fruit size distribution. *Journal of Horticultural Science*. 72(5): 756-771.
51. _____.; Gal, Y.; Peres, M. 2006. The inherent variability of water stress indicators in apple, nectarine and pear orchards, and the validity of a leaf-selection procedure for water potential measurements. *Irrigation Science*. 24: 129–135.
52. _____.; Naschitz, S.; Peres, M.; Gal, Y. 2008. Responses of apple fruit size to tree water status and crop load. *Tree Physiology*. 28: 1255–1261.
53. Olien, W. C. 1986. Effect of seasonal soil waterlogging on vegetative growth and fruiting of apple trees. *Journal of the American Society of Horticultural Science*. 112: 209-214.
54. Ortuño, M. F.; Conejero, W.; Moreno, F.; Moriana, A.; Intrigliolo, D.; Biel, C.; Mellisho, C. D.; Pérez-Pastor, A.; Domingo, R.; Ruiz-Sánchez, M. C.; 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.
55. Parés, J. L. 2010. Optimización en el uso del agua y del abonado nitrogenado en plantaciones de manzano (*Malus x domestica* Borkh) cultivadas en zonas vulnerables del Valle Medio del Ebro: influencia sobre la fisiología del crecimiento vegetativo, reproductivo y la calidad de fruto. Tesis Doctorado. Zaragoza, España. Universidad de Zaragoza. 324 p.
56. Parra, R.; Ortiz, P.; Amado, J.; Chávez, N. 2009. Productivity and growth of apple under controlled deficit irrigation. *Terra Latinoamericana*. 27(4): 337-343.

57. Pizarro, F. 1990. Riegos localizados de alta frecuencia. 2^a .ed. Madrid, España, Mundi-Prensa. 471 p.
58. Puppo, L.; García Petillo, M. 2010. Determinación del consumo de agua del duraznero por lisimetría. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 14(1): 25-31.
59. Requena, A.; Mañueco, L.; Castillo, E. 2012. Evapotranspiración y coeficientes de cultivo del manzano en su tercera temporada de crecimiento. (en línea). In: Jornadas de Riego y Fertirriego (6as., 2012, Mendoza). Memorias. Río Negro, Argentina, INTA EEA Alto Valle General Roca. pp.10-15. Consultado 20 mar. 2014. Disponible en http://www.riegoyfertirriego.com/VI_Jornadas/VI_JARF_TrabajosCompletos/Requena.pdf
60. Ruiz-Sánchez, M.; Domingo, R.; Castel, J. 2010. Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 8(2): 5-20.
61. Schakel, K. A.; Ahmadi, H.; Biasi, W.; Buchner, R.; Goldhamer, D.; Gurusinghe, S.; Hasey, J.; Kester, D.; Krueger, B.; Lampinen, B.; MCGourty, G.; Micke, W.; Mitcham, E.; Olson, B.; Pelletrau, K.; Philips, H.; Ramos, D.; Schwankl, L.; Sibbett, S.; Snyder, R.; Southwick, S.; Stevenson, M.; Thorpe, M.; Weinbaum, S.; Yeager, J. 1997. Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *Horttechnology*. 7(1): 23-28.
62. _____. 2003. The pressure chamber, a.k.a. “the bomb”. (en línea). Los Angeles, California, University of California. 25 p. Consultado 10 may. 2018. Disponible en http://fruitsandnuts.ucdavis.edu/pressure_chamber/
63. Scholander, P.; Hammel, E.; Hemmingsen, E.; Bradstreet, E. 1964. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. *Proceedings of the National Academy of Science*. 52: 119-125.
64. Sozzi, G .2007. Árboles frutales: ecofisiología, cultivo y aprovechamiento. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 848 p.
65. Steduto, P.; Hsiao, T. C.; Fereres, E.; Raes, D. 2012. Crop yield response to water. Rome, FAO. 345 p. (Irrigation and Drainage no. 66).

66. Treder, W.; Czynczyk, A. 1997. Effect of drip irrigation on growth, flowering and yield of “lobo” apple. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. 5(2): 61-67.
67. USDA. NRCS (United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service, US). 2000. Cálculo de la humedad del suelo por tacto y apariencia. Washington, D. C. 14 p. En español.
68. Webster, A.; Vaughan, S.; Lucas, A.; Spencer, J.; Atkinson, C. 2003. Effects of tree age at planting, root manipulation and trickle irrigation on growth and cropping of apple (*Malus pumila*) cultivar Queen Cox on M.9 rootstock. *Horticultural Science Biotechnology*. 78: 680-688.
69. Zefferino, C.; Lanfranco, B.; Ferraro, B. 2011. Beneficios privados y beneficios sociales en la cadena de la manzana para exportación en el Uruguay. Montevideo, INIA. 33 p. (Serie Técnica no. 192).

9. ANEXOS

Medias frutos primer pasada Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj.	C.V.
16/01/2013	60	0,05	0,01	123,98

Análisis de la Varianza (S.C. tipo III)

F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
Modelo.	1422,63	2	711,32	1,43	0,2488
Trat.	1422,63	2	711,32	1,43	0,2488
Error	28440,35	57	498,95		
Total	29862,98	59			

Test:Tukey Alfa=0,05 D.M.S.=16,99813

Error: 498,9535 g.l: 57

Trat. Medias n E.E.

1,00 11,15 20 4,99 A

3,00 21,00 20 4,99 A

2,00 21,90 20 4,99 A

Rendimiento en kg por árbol

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj.	C.V.
Total	60	0,01	0,00	67,19

Análisis de la Varianza (S.C. tipo III)

F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	p-valor
Modelo.	18,86	2	9,43	0,32	0,7261
Trat.	18,86	2	9,43	0,32	0,7261
Error	1670,20	57	29,30		
Total	1689,06	59			

Test:Tukey Alfa=0,05 D.M.S.=4,11925

Error: 29,3017 g.l: 57

Trat. Medias n E.E.

1,00 7,28 20 1,21 A

2,00 8,29 20 1,21 A

3,00 8,60 20 1,21 A