UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

RESPUESTA A LA APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS Y ÉPOCAS DE RIEGO SOBRE EL CRECIMIENTO VEGETATIVO DEL MANZANO (*Malus domestica* Borkh) cv. RED CHIEF.

por

Javier CALCETTO BEYGA
Pablo CAMPI LUGANO
Gonzalo GUERINO DELEÓN

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2007

Tesis aprobada por:

Director: Ing. Jgr. MARIO GARCÍA
Nombre completo y firma

Ing. Jgr. ANTONIO FORTUNATO
Nombre completo y firma

Ing. Jgr. LUCIA PUPPO
Nombre completo y firma

Fecha: ----------

Autor: ----------
Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

Al director y codirectores de esta tesis Mario García, Antonio Formento y Lucía Puppo, al personal del Centro Regional Sur, a Pablo Morales de la cátedra de Riego y Drenaje, a las bibliotecarias Laura Orrego y Sully Toledo, a nuestros familiares y amigos por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

Página

PÁGINA DE APROBACIÓN..... II

AGRADECIMIENTOS..... III

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES..... VI

1. INTRODUCCIÓN..... 1

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... 2
2.1 LA FRUTICULTURA EN EL URUGUAY..... 2
2.2 ASPECTOS GENERALES DEL RIEGO EN FRUTALES DE HOJA CADUCA..... 3
2.3 CARACTERÍSTICAS DEL RIEGO LOCALIZADO..... 4
2.3.1 Uso de RDC en frutales de hoja caduca..... 5
2.4 DINAMICA DEL AGUA EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA-ATMOSFERA..... 6
2.4.1 Oferta hídrica del suelo..... 7
2.4.2 Medición del agua en el suelo..... 7
2.4.2.1 Medidas del contenido de agua..... 7
2.4.2.2 Medidas del potencial del agua del suelo..... 9
2.4.3 Demanda hídrica de la planta..... 10
2.4.3.1 Estimación de las necesidades hídricas de los frutales 11
2.4.4 Equilibrio oferta –demanda de agua..... 12
2.5 EFECTO DEL RIEGO EN EL CRECIMIENTO DE LOS MANZANOS 13
2.5.1 Efectos del riego en el crecimiento vegetativo..... 14
2.5.2 El estrés hídrico..... 18
2.5.2.1 Efecto del déficit hídrico..... 18
2.5.2.2 Efecto del exceso de agua..... 19

3. MATERIALES Y MÉTODOS..... 22
3.1 MATERIAL VEGETAL..... 22
3.2 MANEJO CULTURAL..... 22
3.3 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA..... 22
3.4 SUELO..... 25
3.5 PROGRAMACIÓN Y MANEJO DEL RIEGO..... 28
3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL..... 30
3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... 31
3.8 PARÁMETROS EVALUADOS..... 31
3.8.1 Evaluaciones del crecimiento vegetativo..... 31

3.8.1.1 Volumen de la copa..... 31
3.8.1.2 Área del tronco..... 32
3.8.1.3 Diámetro y longitud del brote..... 32
3.8.1.4 Poda invernal..... 32
3.8.2 Evolución de la humedad en el suelo..... 32
3.8.2.1 Calibración de la sonda..... 33

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 36
4.1 EVOLUCIÓN DEL RIEGO APLICADO..... 36
4.2 EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO..... 39
4.3 EFECTOS DEL RIEGO EN EL CRECIMIENTO VEGETATIVO... 43
4.3.1 Crecimiento del tronco..... 43
4.3.2 Volumen de la copa..... 46
4.3.3 Crecimiento del largo de los brotes..... 47
4.3.3.1 Evolución de la longitud del brote..... 48
4.3.3.2 Incremento del largo del brote..... 48
4.3.4 Crecimiento del diámetro de los brotes..... 52
4.3.4.1 Evolución del diámetro del brote..... 52
4.3.4.2 Incremento del diámetro de los brotes..... 53
4.3.5 Poda de invierno..... 54

5. CONCLUSIONES..... 57

6. RESUMEN..... 58

7. SUMMARY..... 59

8. BIBLIOGRAFÍA..... 60

9. ANÉXOS..... 67

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No. Página

1. Evaporación del tanque A y precipitaciones en la temporada 2001-2002..... 23

2. Descripción del perfil del suelo en el camellón..... 26

3. Análisis textural..... 26

4. Propiedades hídricas del suelo..... 27

5. Caudales de los goteros del ensayo real y nominal en l/h..... 29

6. Rangos máximos y mínimos de ratio, contenido de humedad volumétrica en (%) para las tres profundidades calibradas..... 34

7. Ecuaciones de regresión halladas y coeficientes de correlación para las tres profundidades analizadas..... 34

8. Datos mensuales de Evapotranspiración del cultivo (ETc), precipitaciones registradas en el C.R.S (PP) y riego aplicado en milímetros, para cada tratamiento..... 37

9. Incremento del área de la sección transversal del tronco (%)..... 44

10. Análisis del volumen de la copa (m^3) al inicio y al final de la estación y su incremento relativo(%)..... 47

11. Incremento porcentual del largo total del brote para los diferentes tratamientos. 49

12. Incrementos relativos totales del diámetro del brote en los diferentes tratamientos..... 53

13. Medidas de los diferentes parámetros de poda de invierno para los distintos tratamientos..... 55

14. Evolución del crecimiento en longitud del brote para los diferentes tratamientos (cm.)..... 67

15. Incremento relativo del largo del brote para los diferentes tratamientos (%)..... 67

16. Evolución del crecimiento en diámetro del brote para los diferentes tratamientos (mm)..... 67

17. Incremento relativo del diámetro del brote para los diferentes tratamientos (%). 67

Figura No

1. Croquis del ensayo..... 31

Gráfica No

1. Evolución de las precipitaciones (PP) y la evaporación del tanque "A" (Eo) durante el ensayo (noviembre de 2001-marzo 2002)..... 23

2. Diferencias entre las precipitaciones registradas en el C.R.S. (julio de 2001- junio 2002) y las precipitaciones medias mensuales registradas en la estación meteorológica INIA Las Brujas en la serie 1973- 2000..... 25

3. Curvas de tensión humedad para los tres horizontes del suelo..... 27

4. Rectas de regresión ajustadas para la calibración de la sonda, para las tres profundidades analizadas..... 35

5. Registros de precipitaciones semanales en el Centro Regional Sur (PP) y evapotranspiración potencial semanal del cultivo (ETc)..... 36

6. Comparación semanal de la Evapotranspiración del cultivo (ETc) con el agua recibida por el cultivo (suma de las precipitaciones PP y el riego) para los tratamientos: A) T2, B) T3 y C) T4..... 38

7. Evolución del agua disponible para el tratamiento 1 en los tres horizontes analizados (A, Bt y BC), en comparación a las precipitaciones semanales menos la evapotranspiración potencial del cultivo (PP-ETc)..... 39

8. Evolución del porcentaje de la humedad volumétrica en el suelo para los distintos tratamientos para las tres profundidades: A) horizonte A, B) horizonte Bt y C) horizonte BC, con sus respectivos datos de CC (capacidad de campo) y PMP (punto de marchitez permanente)..... 41

9. Evolución de la humedad en milímetros a capacidad de campo para todo el perfil del suelo para los diferentes tratamientos..... 42

10. Evolución del área de la sección transversal del tronco para los diferentes

tratamientos..... 43

11. Curva de regresión de la respuesta de los incrementos relativos del área de la sección transversal del tronco a los milímetros de riego aplicados..... 45

12. Evolución de la longitud del brote para los diferentes tratamientos, (cm.)..... 48

13. Curva de regresión de la respuesta de los incrementos relativos del largo total de los brotes a los milímetros de agua aplicados por el riego..... 49

14. Evolución de los incrementos relativos semanales de largo de los brotes para los diferentes tratamientos..... 50

15. Evolución semanal del diámetro de brotes para los diferentes tratamientos..... 52

16. Evolución de los incrementos relativos semanales del diámetro del brote para todos los tratamientos..... 54

1. INTRODUCCIÓN

La superficie total frutícola del Uruguay alcanza actualmente las 7658 hectáreas de las cuales el 50% corresponde a manzanos. El área de frutales bajo riego abarca el 50% (3801 há) del total, incrementándose en los últimos años al ritmo de un 10% anual (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2005).

Desde la década del noventa la fruticultura nacional busca una constante actualización incorporando y adaptando nuevas técnicas y tecnologías tratando de aumentar la productividad. Dentro de éstas se encuentran: el aumento de la densidad de implantación, la introducción de nuevos cultivares, el uso de portainjertos clonales y las prácticas adaptadas a altas densidades como poda, conducción, raleo, fertilización y riego localizado.

Dentro de estas prácticas, el riego se destaca como factor que influye directamente en el rendimiento y la calidad de la fruta, ya que ocurren periodos de déficit hídricos en momentos críticos influyendo en dichos parámetros. Dentro de los sistemas de riego, el sistema localizado es el que permite una mayor eficiencia en el uso del agua, la posibilidad de la automatización, la facilidad del manejo y el óptimo uso del fertilizante mediante la fertirrigación. Esto requiere, generar información nacional para su óptimo uso al menor costo posible para el fruticultor.

El presente trabajo se encuentra comprendido dentro de la línea de investigación de riego en frutales desarrollada por la Cátedra de Hidrología que comenzó en el año 1994. En el año 1996 se instalaron en el Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía cuatro módulos de investigación, uno de ellos de manzano (*Malus domestica* Borkh), otro de peral (*Pyrus Communis*) y los restantes corresponden a dos cultivares de durazneros (*Prunus Persica* (L) Batsch). El trabajo específico de esta tesis se llevó a cabo en el módulo manzano, del cultivar "Red Chief" propagado sobre portainjerto franco.

El objetivo de este trabajo es el de evaluar la respuesta en el crecimiento vegetativo de árboles de manzano cultivar Red Chief a diferentes dosis y épocas de riego en la zona sur del Uruguay, durante la temporada 2001-2002.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 LA FRUTICULTURA EN EL URUGUAY

La superficie frutícola en Uruguay estimada para el 2005 fue de 7.658 hectáreas de frutales de hoja caduca, la que aportó en el año 2004 el 1,3% del VBP total agropecuario. Los cultivos principales fueron manzano, peral y duraznero. Las plantaciones de manzano se localizan principalmente en los departamentos de Canelones, Montevideo, San José y Colonia (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2005).

El manzano es la especie de mayor importancia, ocupando el 50% de la superficie frutícola (3.822 hectáreas) y aportó el 63% de la producción total (77.342 toneladas). El peral y el duraznero acumularon algo más de 2.900 hectáreas (40% del total) y el 10% remanente se distribuyó entre los tres cultivos menores (nectarinos, ciruelos y membrilleros) (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2005).

La superficie con manzanos bajo riego fue estimada en un 54% del total (2.071 hà.), que implicó un aumento de casi el 10% con respecto al año anterior (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2005).

El número de árboles de manzanos ha crecido ininterrumpidamente durante los últimos cuatro años, lo que ha llevado las existencias a 2,3 millones de plantas en el 2001 y a 3,1 millones en el 2005 (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2005).

Este crecimiento ha ido cambiando gradualmente la estructura de cultivares de los montes de manzanos, con una expansión de los cultivares que tienen mayor aceptación en el mercado externo. Como contrapartida, se ha ido reduciendo la proporción de algunas de los principales cultivares que se destinan al consumo interno, tales como las del grupo Red Delicious (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2005).

En el caso del cultivar en estudio, la superficie "Red Chief" en el 2004 fue de 483 hectáreas, representando un 13% del total de implantado en esta especie, con un total de 390.000 plantas. La densidad promedio de plantación fue de 809 plantas por hectárea (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2005).

Este cultivar se originó por mutación de yemas del cultivar Starkrimson. Es un árbol de porte erecto con ángulos de ramificación abierta, es de carácter spur y hábito basítono bien marcado, lo que origina un bloqueo en el crecimiento del eje central bastante rápido. A ello se une la inducción floral precoz de la yema terminal y las de las axilas de la parte superior. De esta forma la predominancia del eje central es poco evidente y su crecimiento es frecuentemente rebasado por las ramificaciones laterales vigorosas insertadas en la base del árbol. El vigor es débil por su marcado carácter spur, lo cual para obtener una buena producción y un óptimo calibre de fruto es imprescindible la selección del portainjerto que le confiera un vigor suficiente a la variedad, que permita así una adecuada renovación de los órganos de fructificación a medida que envejezcan. Una correcta conducción de la plantación permite manejar adecuadamente estas características. El fruto es de calibre medio y homogéneo de forma alargada, con lóbulos marcados, de color rojo intenso, brillante y ligeramente estriado con sobrecoloración temprana. La maduración es de la primera quincena de marzo (Iglesias, 1991).

De acuerdo a la evaluación de cultivares realizada por el PREDEG se encuentra dentro de los habilitados sin limitaciones para la zona sur del país.

2.2 ASPECTOS GENERALES DEL RIEGO EN FRUTALES DE HOJA CADUCA

Los cultivos frutícolas son exigentes en agua siendo indispensable el uso del riego. En la mayoría de las regiones con mucha humedad, la precipitación provee el agua necesaria, pero si ésta llega a faltar se presenta un estrés hídrico que provoca efectos perjudiciales en hojas, tallos y otras partes de la planta, los cuales se manifiestan en el desarrollo de los árboles y en la calidad de los frutos (Mills et al., 1994).

La profundidad del suelo y su capacidad para almacenar agua son factores determinantes en las necesidades de riego en áreas donde la distribución de las precipitaciones es errática e incierta (Holzapfel et al., 1995), como las de nuestro país.

Se le adjudica al riego tres beneficios principales: mejora en el crecimiento del árbol, aumento en el rendimiento y tamaño del fruto (Landsberg y Jones, 1981). La producción y calidad de los manzanos se ve claramente afectada por la disponibilidad de agua en el suelo. Un equilibrio entre riegos y fertilización desde la plantación, determina las condiciones favorables de crecimiento para evitar excesos de vigor o juvenilidad, que conllevan a enfermedades y desórdenes fisiológicos difíciles de corregir más adelante y

que afectan en forma significativa el rendimiento y la calidad final de los frutos (Holzapfel et al., 1995).

2.3 CARACTERÍSTICAS DEL RIEGO LOCALIZADO

Entre los distintos sistemas de aplicar agua al suelo, el riego localizado puede utilizarse como una alternativa práctica a los métodos tradicionales de riego; superficial y por aspersión, por sus ventajas comparativas.

El riego localizado se caracteriza por localizar el agua en una parte o fracción de la totalidad de la superficie a regar. Se basa en la aplicación de caudales bajos durante tiempos relativamente prolongados, pero con una alta frecuencia (Fuentes, 1996). El suelo se mantiene constantemente con una humedad cercana a capacidad de campo, caracterizándose por ser un sistema de riego orientado a satisfacer más las necesidades de las plantas que a la recarga del suelo (Doorenbos y Pruitt, 1977), por lo que no se tienen en cuenta los umbrales de riego (Childers, 1982).

Dentro de éste, el sistema por goteo es aquel en que, en los emisores (goteros) se produce una pérdida de carga que genera el goteo del emisor permitiendo descargar el agua desde el sistema hacia el suelo, luego de dejar el emisor el agua es distribuida gracias a su movimiento normal a través del perfil (Gurovich, 1985).

Este sistema de riego tiene la ventaja de presentar una menor pérdida de agua con una mayor eficiencia de aplicación, requiere poca mano de obra, no entorpece las labores culturales, se logra una utilización óptima y económica de los fertilizantes, se adapta a todo tipo de suelo y topografía y permite el uso de aguas marginales y pozos con bajos aforos, promueve menor incidencia de enfermedades, y ofrece la posibilidad de la automatización (Doorenbos y Pruitt, 1977).

Como inconvenientes presenta mayores costos de instalación, la posible obstrucción de emisores (requiere de un buen equipo de filtración en el cabezal), aumenta el riesgo de salinización en la zona radicular, limita el desarrollo radicular y un simple error en el programa de riego puede producir un estrés hídrico importante en el cultivo (Doorenbos y Pruitt, 1977).

En los períodos de alto consumo se debe regar todos los días para asegurar un abastecimiento constante, ya que se puede secar el suelo muy rápidamente, especialmente si sé esta mojando un volumen o un bulbo muy pequeño (Carballo, 1995).

En manzanos bajo diferentes sistemas de riego, surcos, goteo y secano, se observó que la distribución del agua en el suelo fue más uniforme en el riego por goteo lo que produjo un mayor crecimiento de los brotes y el tronco y la eficiencia de aplicación fue 44% mayor que el riego por surcos (Bhardwaj et al., 1995).

En árboles del cultivar Golden Delicious propagados sobre portainjerto Pajam 2 y MM106 que se regaron por aspersión, microjet y gotero se encontró que el microjet y el gotero fueron 40% más eficientes en el uso del agua que el riego por aspersión. Sin embargo no se encontró mayores diferencias en el rendimiento y la calidad de los frutos (Vaysse y Reynier, 1998).

Proebsting et al. (1977) informaron que los árboles regados diariamente por goteo, en una zona árida, fueron más precoces y produjeron mayores rendimientos, así como tuvieron un menor incremento del área del tronco respecto a los árboles regados por aspersión diariamente o en intervalos de dos semanas.

2.3.1 Uso de RDC en frutales de hoja caduca

La técnica del Riego Deficitario Controlado (RDC) es utilizada para situaciones de disponibilidad limitada de agua y climas con menores precipitaciones que el de nuestro país.

Esta técnica se basa en reducir la cantidad de agua aplicada en ciertos períodos fenológicos en que las plantas son menos sensibles a la falta de humedad, (ya que no afecta significativamente ni el rendimiento ni la calidad de los frutos) y en mantener los niveles de riego en un 100% de las necesidades de los árboles durante los períodos críticos, generalmente asociados a la floración y a las primeras etapas de crecimiento del fruto (Holzapfel et al., 1995). El riego deficitario puede ser una efectiva herramienta para el ahorro de agua y promueve: la reducción del crecimiento vegetativo a favor del crecimiento del fruto, la reducción de los costos de producción, de la poda, de aplicación de la fitosanitarios y fertilizantes y un aumento en la calidad de los frutos (Behboudian y Mills, 1997). Una posible desventaja puede ser la reducción del tamaño de los frutos si el déficit generado es muy severo (Mills, 1997).

En situaciones donde el agua es limitada, el conocimiento de las respuestas del árbol al déficit hídrico puede ser utilizado para desarrollar estrategias de riego. Es un principio general, que el déficit de agua debe ser evitado en todo tiempo durante los primeros años de la vida del árbol (Chalmers et al., 1985). La literatura extranjera indica que es posible manejar exitosamente montes de alta densidad aplicando un estrés durante la primera etapa del crecimiento de los brotes, (que produce un efecto más marcado de menor crecimiento de brote), que cuando el estrés se aplica en períodos más tardíos (Irving y Drost, 1987).

Saavedra (1999) en Chile para un monte de manzanos cv. Braeburn de cinco años de edad, instalado en un suelo de textura arcillosa y regado por surcos estableció que el período y la intensidad para que un riego deficitario disminuya el crecimiento vegetativo, sin afectar negativamente el rendimiento ni la calidad de la fruta, fue manteniendo el suelo a 0.04 Mpa en el período de 60 a 120 días de plena flor.

En otro ensayo de este tipo con manzanos de siete años de edad sobre portainjerto MM 106 y que se regaron con riego normal, y con riego reducido desde plena floración hasta 104 días después, y riego reducido de 104 días de plena floración hasta cosecha y secano. El riego reducido temprano y el secano produjeron una reducción en el crecimiento vegetativo, no así el riego reducido tardío (Kilili et al., 1996).

2.4 DINAMICA DEL AGUA EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA-ATMOSFERA

Desde el punto de vista dinámico (generalmente utilizado al analizar el movimiento del agua en el sistema suelo-planta-atmósfera) la cantidad de agua realmente disponible para el cultivo depende de las propiedades del suelo que afectan su retención y transmisión hasta las raíces, de las raíces para extraerla y de la velocidad que debe ser capaz de satisfacer las exigencias de la transpiración. Por lo tanto, depende de los factores del suelo (característica de la curva potencial-contenido de agua, resistencia al movimiento del agua), de la planta (densidad y profundidad radical) y de la atmósfera (radiación, viento, temperatura) (García, 1984).

2.4.1 Oferta hídrica del suelo

El suelo funciona como un reservorio de agua, que permite conciliar, hasta cierto punto, las necesidades continuas de la planta con el aporte esporádico de las lluvias y de los riegos (García, 1984).

La oferta hídrica de los cultivos, puede considerarse desde un punto de vista estático como el agua disponible o sea el agua retenida en el suelo entre la capacidad de campo (0,01- 0,03 Mpa) y el coeficiente de marchitez permanente (1,5 Mpa). Este concepto es de utilidad para la caracterización de los suelos, para estimar su capacidad de suministro de agua a las plantas y para determinar riegos o realizar balances hídricos (Duran et al., 1992).

2.4.2 Medición del agua en el suelo

El conocimiento del contenido de agua en el suelo es fundamental para evaluar el estado hídrico de los cultivos y determinar los momentos óptimos de riego y su magnitud. Por lo tanto hay que conocer el contenido de agua en el suelo estimado por algún método de medición, para determinar el nivel de humedad que afecta la respuesta vegetativa y asociada a esto la necesidad o no de aplicar una cantidad de agua para mantener el nivel más adecuado.

2.4.2.1 Medidas del contenido de agua

El contenido de agua en el suelo en un momento dado (humedad actual) puede determinarse por diversos métodos: directos e indirectos, según los procedimientos utilizados (Mitchell y Goodwin, 1996).

El método estándard o gravimétrico para determinar el contenido del agua en el suelo consiste en colectar una muestra física del suelo pesándola y luego secándola a una temperatura constante de 105 °C durante 24 horas y posteriormente pesándola. La diferencia de peso entre antes y después del secado es considerada como agua removida. El contenido de agua se calculó, en porcentaje en peso usando la siguiente ecuación:

$$Hp\ \% = \frac{\text{Peso de agua en la muestra}}{\text{Peso de la muestra seca a } 105^{\circ}C} \times 100$$

Luego disponiendo del valor de la densidad aparente del suelo, puede calcularse el porcentaje en volumen del agua en el suelo. La medida del volumen de la muestra o la densidad aparente es dificultosa y sujeta a errores, particularmente en el campo.

El método gravimétrico esta sujeto entonces a errores inherentes porque depende de la muestra, del transporte de las mismas y de las repetidas pesadas. Es también un método laborioso y que consume tiempo ya que requiere veinticuatro horas para un secado completo. Es también arbitrario, ya que algunas arcillas pueden contener apreciables cantidades de agua adsorbidas que pueda ser secada. Por otra parte, pueden oxidarse y descomponerse algunos componentes de la materia orgánica a 105°C por lo que el peso perdido puede no deberse enteramente a la evaporación del agua. Los errores incurridos en el método gravimétrico pueden ser reducidos incrementando el tamaño y el número de muestras. No obstante éste método es destructivo y puede perturbar el lugar de muestreo y alterar los resultados. Además se necesita un pequeño laboratorio de apoyo donde llevar a cabo el secado y el peso de las muestras, lo que restringe aún más la utilización del método (Smajstrla y Harrison, s.f.).

Por todas estas razones se prefieren métodos indirectos para estos estudios para determinar la humedad del suelo, que permiten hacer frecuentes y continuas medidas en el mismo lugar (Smajstrla y Harrison, s.f.).

Un método indirecto moderno y simple, aunque requiere de un equipo más sofisticado, es el que utiliza la sonda de neutrones. Ésta se emplea cada vez más en estudios de riego y evapotraspiración. Su principal interés es que permite medir los cambios en la humedad del suelo (Ramos et al., 1985) de forma rápida, periódica y no destructiva (Smajstrla y Harrison, s.f.).

Como desventaja, es una herramienta usada principalmente por investigadores más que por productores individuales, porque el costo de ésta es muy alto, su calibración y uso es compleja y porque es utilizada una fuente radiactiva la cual debe ser manejada por personal especializado (Smajstrla y Harrison, s.f.).

La sonda opera bajo el principio de la termalización nuclear. Neutrones rápidos son emitidos por una fuente de radiación y pierden energía (y velocidad) cuando estos colisionan con iones de hidrógeno. Los neutrones lentos son contados por un detector en el instrumento (Smajstrla y Harrison, s.f.).

La relación de colisión es medida en cuentas, sobre un determinado período de tiempo. La sonda debe calibrarse para que las cuentas puedan ser convertidas a contenido de agua en el suelo. Si esta no es correcta tampoco serán las medidas realizadas (Mitchell y Goodwin, 1996). Debido a que solo se cuentan hidrogeniones y no moléculas de agua, la calibración debe ser para cada tipo de suelo y sus horizontes, realizando para ellos una curva de calibración propia en la cual ésta va a ser usada (Smajstrla y Harrison, s.f.). Es por ello que se deben realizar medidas en un amplio rango de contenidos de agua en el suelo (Evett, 1998). De esta manera se mide el total de agua en un determinado volumen de suelo de la muestra. En un suelo con contenido de agua medio, éste es como el de una esfera de aproximadamente 30-40 cm. de diámetro, con la fuente de emisión de neutrones en el centro. No obstante, el agua contenida en el suelo cercano a la fuente tiene mayor efecto en la medida de las cuentas (Mitchell y Goodwin, 1996).

Al depender del volumen de suelo en que se hace la medida de radio de la nube, y ésta del contenido de agua, la medida no es puntual como el caso de la medida gravimétrica (Duran et al., 1992).

Vauclin et al. (1982) realizaron un análisis de varianza para identificar los diferentes componentes del error en la estimación del contenido de agua con dos sondas de neutrones diferentes en diecisiete lugares espaciados en el campo. En situación de sitios homogéneos y un alto número de muestras, la calibración es el gran contribuyente del total de la varianza. Para altos niveles de heterogeneidad de suelo, el componente de localización fue el que mayor contribución tuvo en el total de los valores de la varianza y ésta se redujo incrementando el número de muestras.

2.4.2.2 Medidas del potencial del agua del suelo

En numerosas circunstancias suele interesar la determinación de la succión del agua en el suelo en función de su contenido para el estudio del sistema suelo-planta-atmósfera, para lo cual existen métodos de campo como el tensiómetro, y de laboratorio como el de la olla de Richards (Duran et al., 1992).

El tensiómetro mide el potencial del agua del suelo, indicando la fuerza necesaria del mismo para extraer el agua de la copa de cerámica que sería equivalente a la fuerza que una planta debe hacer para extraer agua del suelo. El tensiómetro mide el nivel de energía o aprovechamiento de agua por una planta más bien que el contenido del agua en el suelo (Smajstrla y Harrison, s.f.).

Un tensiómetro instalado en el suelo por un largo período de tiempo tiende a seguir los cambios en la tensión del agua en el mismo. Las variaciones de la humedad del suelo ya sea por drenaje, por extracción de la planta o devuelta por lluvia o el riego, corresponden a una variación en la medida del tensiómetro. El manómetro del tensiómetro está graduado de 0 a 100 centibares, donde una lectura de cero indica que el suelo esta saturado. La utilidad del tensiómetro se limita a tensiones de hasta 80 centibares, debido a que superando estas tensiones, entra aire a través de la copa de cerámica y se rompe la columna de agua, causando fallas de medición (Smajstrla y Harrison, s.f.).

Por otro lado el principio que se utiliza en los extractores ("ollas") de presión, es el mismo con el que opera el tensiómetro. Pero en este caso, en vez de dejar que el suelo succione el agua pura y libre del tensiómetro, se aumenta la presión de la muestra (y de su agua) a una presión determinada, forzándola a pasar a un recipiente de agua pura a presión atmosférica, hasta alcanzar un equilibrio. Determinando el contenido de agua a diferentes presiones, se pueden construir las curvas de succión- contenido de agua. (Duran et al., 1992).

2.4.3 Demanda hídrica de la planta

La demanda hídrica de la planta es la generadora de los gradientes de potencial hídrico necesario para la succión del agua desde el suelo hacia las hojas y tiene dos orígenes: los requerimientos metabólicos y la transpiración (Smart y Barrs, 1973).

El factor ambiental más importante en determinar las variaciones diarias del potencial hídrico en hoja es la radiación solar, que explicaría entre el 76 y el 97 % de sus variaciones. El menos importante el déficit de saturación. (Smart y Barrs, 1973).

En lo que tiene que ver con la localización en el suelo del agua extraída por la planta, la absorción se incrementa en la primavera. La extracción inicial es mayor en la superficie del suelo, debido probablemente a una mayor actividad radical por una temperatura de suelo más favorable. Mas adelante en la estación, la absorción del agua es proporcional a la concentración de las raíces funcionales en cada parte del suelo (Uriu y Magness, 1967).

2.4.3.1 Estimación de las necesidades hídricas de los frutales

En términos generales el agua que necesita un cultivo para su crecimiento óptimo es equivalente al nivel de la evapotranspiración. De una manera más precisa, las necesidades de agua se definen aquí como el nivel de evapotranspiración de un cultivo libre de enfermedades que crece en un terreno de condiciones óptimas de suelo (Allen et al., 1998).

De los distintos métodos de estimación de las necesidades hídricas conocidos la FAO (Allen et al., 1998) recomiendan los de Penman Monteith y la evaporación de un tanque evaporimétro.

En este trabajo se utilizó el tanque evaporímetro tipo "A" que es un recipiente cilíndrico cuyas dimensiones, ubicación y procedimiento de medición de la evaporación han sido estandarizados. La tasa de evaporación de agua es obtenida por este método donde en ausencia de lluvias, la cantidad de agua evaporada durante un período (mm/día) corresponde con un decrecimiento en los niveles de agua en ese período (Allen et al., 1998).

Esta medida obtenida, evaporación del tanque "A" (Eo), esta influenciada por ciertas características del mismo y del lugar como la diferencia en la cobertura del terreno, la distancia de la cobertura y las condiciones climáticas que tienen especial significación en el resultado. Por esto debe ser corregido por un coeficiente de tanque (Kt) para obtener así la evapotranspiración de referencia (ETo) (Allen et al., 1998).

En nuestro país se han determinado los coeficientes de tanque (Kt) para todas las regiones y meses del año (Corsi, 1994). Es una medida del efecto integrado de la radiación, el viento, la temperatura y la humedad en la evaporación sobre una superficie abierta de agua (Allen et al., 1998). Estos mismos efectos son los que determinan el consumo de agua de un cultivo localizado en esa misma zona, que es empleado con mayor frecuencia por su sencillez en los equipos de riego modernos.

Childers (1982) menciona que experiencias llevadas a cabo en Australia e Israel han indicado que la evapotranspiración de tanque "A" es el mejor índice para la aplicación de agua de riego.

La ETo se usa como dato de partida para el cálculo de las necesidades de los cultivos. Como cultivo de referencia se toma una extensa pradera de gramíneas en crecimiento activo, de altura uniforme entre ocho y quince centímetros, que sombrea completamente el suelo, libre de plagas, enfermedades y nunca escasa de agua y nutrientes (Allen et al., 1998).

Al representar la ETo un índice de demanda climática, debe ser corregida por un coeficiente de cultivo (Kc). El Kc varía predominantemente por las características específicas del cultivo y tiene un limitado efecto climático, a lo que permite utilizar sus valores entre diferentes localidades y climas. Esta ha sido una de las principales razones de aceptación global y utilidad del Kc. A pesar de ello, existen algunas limitantes al uso del mismo tomando en cuenta en los diferentes cultivos la rigurosidad del invierno, la humedad relativa y la velocidad del viento (Allen et al., 1998).

En riego localizado cuando el cultivo no llega a sombrear mas del 65-70% de la superficie total, la evapotranspiración del cultivo se debe corregir por el efecto de la localización denominado Kl. Fereres et al. (1981) presentan una grafica que relaciona el porcentaje de la evapotranspiración máxima del cultivo en función del porcentaje de área sombreada por el mismo.

En Nueva Zelanda se utilizaron tres métodos de estimación del consumo de agua en árboles de manzano: la técnica nuclear, la del pulso de calor y el modelo de Priestley Taylor modelo para estimar el potencial de evapotranspiración. El resultado muestra que un árbol adulto consume 60 a 80 litros de agua por día. El primer método muestra solo un promedio de la extracción de agua en un periodo de tiempo. En el segundo y tercer método se cuantifica más en detalle la extracción diaria de agua (Rahardjo, 1993).

En un ensayo nacional (García et al., 2003) estimaron en un período de seis años un consumo promedio de 680 milímetros anuales para un monte de manzano adulto.

2.4.4 Equilibrio oferta –demanda de agua

Cada vez que la absorción retrase excesivamente la transpiración, sea por oferta hídrica reducida o por excesiva demanda atmosférica, la planta entrará en estrés hídrico y deberá reponer agua para no perder turgencia (deshidratarse, marchitarse) a pesar de los mecanismos de ajuste osmótico y estomático que ella tiene.

Davies y Lakso (1978) describen estos procesos en manzanos y establecen que el mecanismo principal que conduce al descenso del potencial osmótico en la hoja, es el que permite lograr una mayor diferencia de potencial que aumenta la oferta hídrica.

2.5 EFECTO DEL RIEGO EN EL CRECIMIENTO DE LOS MANZANOS

El riego no solo afecta el crecimiento del fruto y la cosecha de ese año, sino que también influye en el desarrollo de las yemas, la morfogénesis y el crecimiento vegetativo (Fereres y Goldhamer, 1990).

Una revisión de 80 ensayos realizados por Stanhill, citado por Goode y Hyrycz (1964) sobre los efectos del contenido de agua en el suelo en el crecimiento de las plantas, muestran que los cultivos perennes son menos sensibles a la humedad del suelo que los cultivos anuales. La mayoría de los autores coinciden en mostrar el efecto beneficioso del riego en el crecimiento y el rendimiento de los árboles frutales. De todas formas, debe tenerse en cuenta que los resultados beneficiosos son acumulativos, y requieren varios años para manifestarse (Salter y Goode, citados por Hewett, 1976), en tanto que los efectos negativos de un déficit en el agua disponible se manifiesta inmediatamente (Veihmeyer y Hendrickson, 1950).

La sensibilidad de los árboles a las deficiencias hídricas se relaciona con el estadio fonológico y a la producción de frutos que presenta. Ésta aumenta cuanto mayor sea la cantidad de frutos (Landsberg y Jones, 1981).

El crecimiento en grosor del tronco esta más afectado durante la etapa juvenil (la de mayor crecimiento vegetativo) y luego se estabiliza al alcanzar los niveles de producción definitivos (Goode e Ingram, 1971).

En general las diferencias de crecimiento entre riego y secano pueden explicarse en términos de la tensión del agua disponible y del volumen de suelo ocupado por las raíces (Goode e Ingram, 1971). Hewett (1976) concuerda con Assaf et al. (1974) en sus trabajos que el punto crítico para manzanos es de 30% del contenido de agua disponible para un suelo arcillo limoso de 45 centímetros de enraizamiento posible.

2.5.1 Efectos del riego en el crecimiento vegetativo

Los parámetros de crecimiento vegetativo se ven directamente influenciados por el contenido de agua en el suelo, por la etapa fenológica expresada por las plantas y la demanda climática. Muchos autores coinciden en indicar que hay momentos claves en las etapas del crecimiento de las plantas donde la disponibilidad de agua es fundamental (Assaf et al., 1974).

Por otro lado también la proporción relativa entre el crecimiento vegetativo y reproductivo pueden variar considerablemente con algunos factores como el cultivar, su vigor, la fructificación y la poda (Lakso 1984, Forshey y Marmo 1985).

Cripps (1981) evaluando varios parámetros de crecimiento vegetativo (volumen de copa, sección de tronco, largo de brote y peso de poda) en función del riego y su relación con la carga de frutos en manzanos Granny Smith, encontró que los mayores valores se obtenían en árboles sin fruta y mantenidos cercanos a capacidad de campo.

En árboles de hoja caduca, la brotación empieza en primavera luego de un período de acumulación de frío invernal, necesario para la brotación de las yemas (Fereres y Goldhamer, 1990). El crecimiento inicial en los brotes ocurre a expensas de las reservas en carbohidratos y pueden autoabastecerse después de cinco o seis hojas desarrolladas. Los brotes pueden empezar a exportar carbohidratos a partir de la 2ª o 3ª semana luego del inicio de la brotación de las yemas (Johnson y Lakso, 1986a, 1986b).

El crecimiento de los brotes es muy rápido entre la 3ª y 4ª semana, después de floración (Forshey et al., 1983) y se completa a mediados del verano. Una alta cosecha en el año previo o una abundante floración pueden retrasar el crecimiento vegetativo, mientras que un alto vigor o una primavera cálida puede adelantarlo (Forshey y Marmo 1985, Forshey et al. 1987).

Aunque el crecimiento vegetativo cesa a mediados del verano en los árboles de manzano, el incremento en peso seco continúa (Maggs, Priestley, citados por Forshey y Elfving, 1989). Esto es debido, en parte al crecimiento de las raíces y en parte al engrosamiento del tronco, de las ramas laterales y de las ramas pequeñas incluyendo a todos los segmentos de un año y más.

La mayor parte del incremento del peso seco asociado con el crecimiento secundario ocurre después del cese del crecimiento en longitud (Forshey et al., 1983). El engrosamiento del tronco y del brote avanza a través de la estación de crecimiento y son también sensibles a déficit hídricos. Maggs, citado por Landsberg y Jones (1981), sugiere que en el crecimiento del tronco es menos sensible a déficit hídrico que la extensión de los brotes. También existe una correlación positiva entre el crecimiento del brote y el crecimiento del tronco de los manzanos (Wilcox, citado por Forshey y Elfving, 1989).

Para medir la respuesta del crecimiento de las plantas al riego, la medición de los brotes vegetativos es de acuerdo a Pearce (1953) el parámetro más fácil y más utilizado. Westwood y Roberts (1970) tomaron el incremento del área de la sección transversal de tronco como una medida fácil de hacer y se relaciona con el crecimiento total del árbol. Definieron además a la circunferencia del tronco como la más evaluable estadísticamente.

Por otra parte, el crecimiento en grosor del tronco se puede determinar evaluando las variaciones de la circunferencia a intervalos anuales. En general, la medida determinada con una cinta es mejor que la medida del diámetro con un calibre. El lugar de medición, debe ser en lo posible 20-30 cm encima de la unión del injerto y por debajo de las ramas más bajas, marcándose con pintura la zona de medida, para identificarla adecuadamente al año siguiente (Pearce, 1953).

De acuerdo a Landsberg y Jones (1981) el crecimiento de los manzanos es incrementado favorablemente a través del suministro del riego. Goode y Hyrycz (1964) aplicaron tres tratamientos de riego en el cual dejaron agotar el agua disponible hasta que los tensiómetros indicaban 13, 26 y 65 KPa y un testigo en condiciones de secano y observaron que los incrementos en la sección del tronco fueron de 30, 40, y 20% respectivamente mayores con respecto al secano.

En Brasil, Pola et al. (1991) no encontraron diferencias significativas en el crecimiento del tronco y de los brotes de manzanos cv. Golden Delicious, Fuji y Royal Gala sobre portainjerto M7, entre los árboles regados y los árboles de secano a pesar de que las plantas en secano sufrieron un mes sin precipitaciones (desde mediados de diciembre). Los autores suponen que el no efecto del riego es debido a que el tipo de suelo del ensayo era muy arcilloso y profundo con alta capacidad de retención de agua.

En manzanos Cox`s Orange Pippin de cuatro años de edad que se sometieron a déficit hídricos en dos períodos: durante el mes de diciembre y otros durante enero y febrero, se encontró que el déficit hídrico afecto más la reducción de la extensión de brotes, con respecto a los mantenidos a capacidad de campo, en el primer periodo (37%) que en el segundo (7%) (Irving y Drost, 1987).

Beukes y Weber (1982) trabajando con manzanos de 11 años de edad del cultivar Granny Smith que fueron sometidos a cuatro regímenes hídricos: 85, 65, 45 y 25% de agua disponible, en la estación de crecimiento, encontraron que la evapotranspiración aumentaba a medida que el agua disponible era mayor y que se incrementa a su vez el crecimiento del brote, del tronco y de los frutos, efectos que correlacionaron positivamente con el aumento del agua disponible en el suelo.

En Chile, Gómez (1996) evaluó el crecimiento de manzanos del cv. Royal Gala regadas a 20%, 40%, 100% y 120% de las necesidades hídricas durante toda la temporada y encontró que todos los parámetros del crecimiento vegetativo evaluados aumentaron significativamente a medida que aumentó la dosis de riego, excepto el diámetro del tronco.

Trabajando con manzanos de dos años cv. Scarlet Spur, Barros (1998) observó que el crecimiento vegetativo (el largo del líder central, el largo de las ramas laterales y diámetro del tronco) fue mayor en el tratamiento de reposición del 100% de la ETc y menor en el de 20%. Más precisamente encontró una disminución del 26% en el largo del líder; del 34% en el de las ramas y de un 33% en el crecimiento del tronco.

Ebel et al. (1995) en un ensayo con manzanos cv. Red Spur propagadas sobre portainjerto MM 106 encontraron que cuando se aproximaron al punto de marchitez se favorece el número de spur (dardo lamburda) con respecto al riego normal, y una reducción del número y del largo de los brotes vigorosos.

Sin embargo, no se encontraron diferencias, en el número de brotes por árbol en diferentes regimenes de riego pero si una considerable diferencia en el largo final de los mismos. La diferencia en el largo final de los brotes se debió a un declinamiento en la tasa de crecimiento después de las diez semanas de la brotación en los árboles con estrés, mientras que los bien regados continuaron este crecimiento por más tiempo (Landsberg y Jones, 1981).

Figueroa (1990) trabajando en manzanos Oregon Spur de ocho años de edad en los que aplicó un riego diferencial que consistió en 33, 66 y 100% del requerimiento teórico de agua para tratar de determinar el requerimiento real y establecer los efectos del déficit hídrico en el ciclo, encontró que los resultados obtenidos muestran que el volumen de agua aplicado tuvo un efecto positivo en el crecimiento total de los árboles expresado como crecimiento total de ramas.

En Nueva Zelanda Mills et al. (1996) determinaron con manzanos cv. Braeburn de tres años de edad, que se afectaba el crecimiento del tronco si se reducía el riego a 0,5 ETc desde los 55 días o desde los 105 días después de la plena floración en adelante. Por otro lado, el crecimiento del brote solo se vio afectado si se reducía sólo a partir de los 55 días después de la plena floración.

En otro ensayo con manzanos de la variedades Cox`s Orange Pippin y Golden Delicious durante tres años de evaluación Higgs y Jones (1990) encontraron que manteniendo el suelo cercano a la capacidad de campo tuvieron un incremento con respecto al secano de 13 a 20% en el peso acumulativo de la poda invernal y de un centímetro más de circunferencia del tronco por año.

En Nueva Zelanda Mpelasoka et al. (2001) trataron en un tratamiento un grupo de manzanos Braeburn de diez años de edad con un nivel de humedad próximo a la capacidad de campo (CC) durante la temporada y en el otro tratamiento igual hasta 40 días después de la plena floración (período donde termina la división celular de los frutos) y luego mantenido a 15% de humedad en volumen. Ellos encontraron que las primeras tuvieron un crecimiento final en largo de brote 15% mayor que aquellos que fueron sometidos al segundo tratamiento.

Behboudian et al. (1998) trabajando con árboles del mismo cultivar pero con 5 años de edad sobre lisímetros, aplicaron tres tratamientos de riego: un control regándose con 4 litros de agua por planta por día en la estación (que fue el consumo de agua calculada por planta), un riego deficitario temprano regado igual hasta los 40 días después de floración y luego sé continuo con media dosis y el tercero a partir de 112 días después de la floración a media dosis. Y encontraron que el crecimiento del tronco fue significativamente menor en el que comenzó el déficit hídrico más temprano lo que no fue así para el riego deficitario establecido a partir de 112 días.

La reducción del crecimiento vegetativo es la respuesta más sensible al estrés hídrico (Hsiao, 1973) y está asociado tanto a las condiciones de sequía como a las de anegamiento (Rowe y Bearsell, 1973). Donde la raíz juega un papel muy importante. La mayor limitación al crecimiento de las raíces, es entonces el exceso o falta de humedad del suelo, ya que crece en suelos húmedos y bien aireados. Por otra parte, si la humedad del suelo no es adecuada, la nutrición de la planta es deficiente (Carballo, 1995). Por otra parte se establece que la deficiencia de oxígeno en el suelo es la responsable de los principales efectos negativos del exceso de agua sobre las raíces.

2.5.2.1 Efecto del déficit hídrico

El estrés hídrico en la planta o déficit se refiere a situaciones donde la turgencia de la planta se reduce lo suficiente como para interferir en los procesos normales de la misma. Los efectos del estrés dependen del momento en que se produce o aplica y de la magnitud y la duración del mismo. Por otra parte pueden ser específicos a las especies vegetales involucradas y a su estado de desarrollo (Goldhamer, 1995).

El efecto acumulativo del estrés hídrico provoca una reducción en el tamaño del árbol y una disminución de la longitud de las ramas, así como del diámetro del tronco y del tamaño de las hojas (Salter y Goode, citados por Fereres y Goldhamer, 1990).

El proceso vegetal más sensible al estrés hídrico es el crecimiento celular. Para que una célula se alargue debe ser mantenida la presión de turgencia dentro de la misma, estréses hídricos medianos que corresponden a pequeñas disminuciones en turgencia reducirán el crecimiento. Dado que el crecimiento celular se afecta mucho antes que se observen síntomas visuales tales como el marchitamiento, el daño en el cultivo puede producirse bastante antes de verse las manifestaciones asociadas con un estrés más severo. Es porque en frutales, el cierre estomático, con frecuencia ocurre en ausencia de marchitamiento. El cierre parcial puede con frecuencia minimizar la disminución de los niveles de agua en la planta y el ingreso del CO_2, por lo que el mantenimiento de un estado de agua desfavorable resulta en una disminución de la fotosíntesis (producción de materia seca) (Goldhamer, 1995) y por lo tanto del rendimiento final.

Mills et al. (1994) han encontrado que la distribución radical es afectada por el ambiente. Es por ello que la disminución de la humedad en el suelo causa que las raíces

más cercanas a la superficie estén expuestas a condiciones más secas, por lo que se deshidratan más rápido con respecto a las raíces más profundas, donde el suelo contiene mayor humedad. Esto motiva el envío de señales a los órganos aéreos de la planta vía xilema, señales de naturaleza bioquímica que provocan que las necesidades de agua se reduzcan y controlan la apertura estomática, la tasa de la transpiración, el contenido de agua en la hoja y el crecimiento.

En definitiva aún no está muy claro cuál es el momento más sensible al déficit del agua, pero los pocos estudios que existen señalan que el período de crecimiento rápido del brote y el inicio de crecimiento del fruto serían los más importantes (Irving y Drost, 1987).

La deficiencia de agua está asociada a un alargamiento reducido y a un tamaño menor de las hojas, particularmente cuando la sequía ocurre al comienzo de la estación de crecimiento, dado que la elongación de los brotes se completa dentro de las seis semanas de comenzado el crecimiento. Luego de este período la falta de agua afecta el engrosamiento de las ramas y el crecimiento del tronco (Childers, 1982).

Furr y Magness, citados por Uriu y Magness (1967), encontraron que el xilema de los brotes del manzano eran 52% más gruesos en los árboles regados que en árboles los similares no regados, donde el contenido de agua en los primeros 45 cm. del suelo estaba en el punto de marchitez permanente desde mediados de enero hasta mediados de febrero (hemisferio sur).

En condiciones de secano, con sistema radical superficial pueden aparecer déficits hídricos durante un corto período de precipitaciones deficientes. Es por eso que concluyen que en áreas donde es necesario el riego y cuando el sistema radical es profundo, la aplicación de agua puede ser menos frecuente pero debe aplicarse una lámina mayor que cuando el sistema es superficial (Uriu y Magness, 1967).

2.5.2.2 Efecto del exceso de agua

Considerando que los montes de nuestro país están implantados mayoritariamente en suelos bien diferenciados y con escaso desarrollo de horizontes agrícolas adecuados, con condiciones de drenaje deficitario y sujeto a un régimen hídrico de gran variabilidad, es común que las raíces profundas sean afectadas por condiciones de anaerobiosis determinadas por los excesos de agua en invierno. Esto

compromete seriamente la capacidad de absorber agua y nutrientes durante la estación de crecimiento (Zoppolo y Pieroni, 1985), fundamentalmente en el reinicio de primavera.

Considerando estos aspectos el riego puede tener efectos perjudiciales al aumentar la frecuencia y la necesidad que promovería excesos en la estación de crecimiento, aumentados o no por la irregularidad de las lluvias (Richard y Cockroft, citados por Zoppolo y Pieroni, 1985). Por otra parte puede que favorezca la aparición de una napa constante alta que puede detener totalmente el crecimiento de las raíces (Cripps, 1971).

El anegamiento provoca una reducción del contenido de oxígeno en el suelo y afectando la formación de nuevas raíces, la elongación de éstas y el mantenimiento de las raíces existentes (Boyton y Compton, citados por Olien, 1986), lo que habría de depender de las distintas especies. Así en el manzano y otras especies, existe una relativa buena adaptación a los sitios húmedos pero muestran una reducción al crecimiento con el anegamiento. Este mecanismo de sobrevivencia reduce la energía demandada por el metabolismo como respuesta a la baja cantidad de oxigeno (Crawford, citado por Olien, 1986).

Se han reportado niveles distintos de oxígeno para la subsistencia y crecimiento de raíces. Boston et al., citados por Buckman y Brady (1966) encontraron que las raíces del manzano necesitan 3% de oxigeno en la atmósfera del suelo para subsistir y 12% para desarrollar nuevas raíces. Por otra parte Childs, citado por Olien (1986), encontró que la concentración de oxigeno debajo de 2% reduce la fotosíntesis y transpiración en manzanos. En el manzano y el peral, se han encontraron que con concentraciones de oxigeno entre el 1 y el 5%, el crecimiento de las raíces se ve perturbado en tanto que en el duraznero es nulo a menos del 5% (Boyton et al., citados por Mendia e Irisarri, 1995).

Según Kozlowski y Pallardy, citados por Olien (1989) el anegamiento baja el contenido de nutrientes en la planta al reducirse la absorción de iones en condiciones anaeróbicas. Heller, citado por Mendia e Irisarri (1995) ha establecido que la absorción de los elementos minerales, y disminuye en un 80% en ausencia de oxigeno. El contenido de N, P, K y en menor medida de Ca y de Mg fueron reducidos en manzanos jóvenes (Rowe y Bearsell, 1973) pero aumentaron los contenidos de sodio en respuesta al anegamiento.

Por otra parte Childers y White, citados por Olien (1989) trabajando con árboles jóvenes en crecimiento activo encontraron que los niveles de fotosíntesis neta, de respiración y de transpiración se redujeron cuando fueron sometidos entre dos y siete días a anegamiento. Las observaciones agronómicas generales además indican que los suelos afectados por condiciones redox (déficit total o parcial de oxigeno en la atmósfera del suelo) produce disminución de los rendimientos, signo de carencia de minerales, síntomas de déficit hídrico y finalmente la muerte de la planta (Mendia y Irisarri, 1995).

Si no se controla la aplicación de agua y el contenido de humedad en el suelo, se corre el riesgo de saturar el perfil. Cuando ocurre una saturación severa, la planta muestra síntomas tales como detención del crecimiento y hojas amarillas. Por otra parte, si el suelo se mantiene en niveles altos de humedad en forma permanente aún sin llegar a niveles críticos, el daño se produce en el largo plazo y es más difícil de recuperar la planta (Carballo, 1995).

De acuerdo a Requena (1995) los manzanos y otros árboles frutales no son afectados si el período de anegamiento ocurre durante la estación de reposo vegetativo, pero pueden ser altamente susceptibles si esto ocurre durante la estación de crecimiento; ya que una de las consecuencias del exceso de agua es la inhibición de la absorción de la misma, lo que conduce a su deshidratación.

Wiersum, citado por Spangenberg et al. (1985), señala que ciertas zonas del suelo con saturación temporaria de agua, son el resultado de pobres estructuras de suelo y de muy baja capacidad de drenaje. Fuertes lluvias y/o riegos, pueden ser la causa de deficiencias locales de oxígeno y pueden ocurrir severos daños especialmente en verano cuando la tasa de respiración es alta y las raíces son sumamente sensibles.

Olien (1986) realizó durante 3 años un ensayo con manzanos Macspur de 7 años de edad propagados sobre M26, donde evaluó el efecto del anegamiento durante seis semanas en los periodos de primavera, verano y otoño. Allí los comparó con un testigo sin anegamiento. Él encontró que los crecimientos vegetativos se redujeron significativamente en más de un 41% en los tratamientos de excesos de agua de primavera y verano con respecto al testigo, pero no hubo diferencias entre el exceso otoñal y el del testigo a través de los tres años del ensayo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIAL VEGETAL

En el invierno de 1996 se instaló en el Centro Regional Sur de la Facultad de Agronomía ubicado en el camino El Gigante Km. 35, Joanicó, en el departamento de Canelones, un monte experimental de manzano (*Malus domestica* Borkh) cv. Red Delicious "Red Chief " propagadas sobre portainjerto franco "King David".

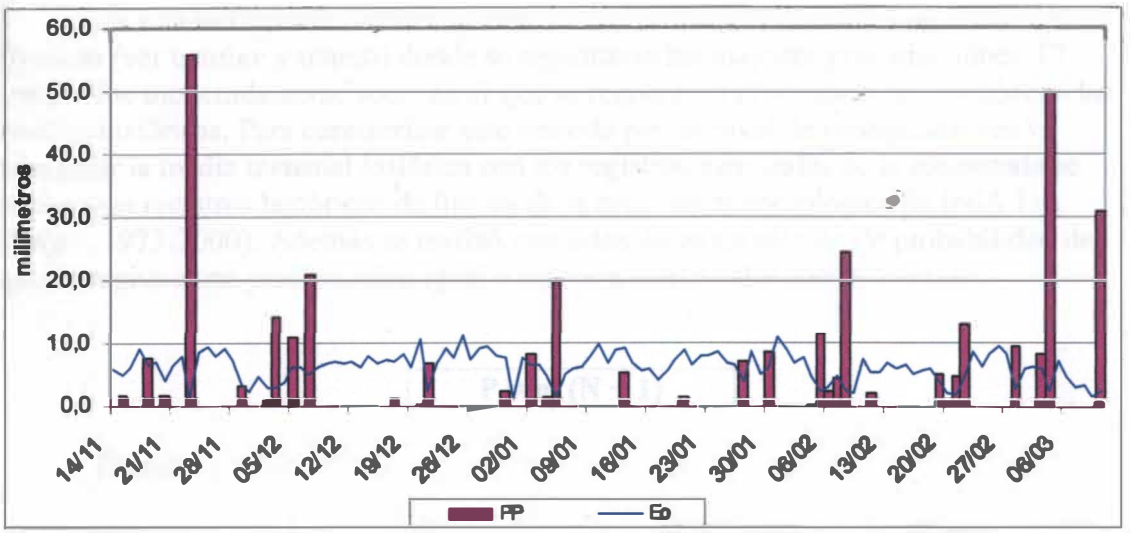
La superficie de la parcela fué de 2734 m^2, en la cual se instalaron 243 árboles en 9 filas alomadas con orientación E-W. Cada fila tiene 27 árboles instalados a 4.5m en la entrefila y 2.5m entre plantas, lo que da una densidad de plantación de 888 plantas por hectárea. El sistema de conducción de estas plantas es el de líder central. El cuadro posee cortinas rompevientos de casuarinas en los bordes E y S.

3.2 MANEJO CULTURAL

Las prácticas culturales como la poda, la sanidad, el manejo del suelo y la fertilización fueron similares para todo el cuadro. La fertilización y manejo sanitario se realizó en base a las pautas de manejo integrado. El manejo del suelo consistió en mantener la entrefila empastada en forma permanente, realizando cortes esporádicos con pastera rotativa y las filas se mantuvieron libres de malezas mediante la aplicación de glifosato.

3.3 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Las precipitaciones y la demanda atmosférica medida a través de la evaporación del "tanque A" fueron las dos variables climáticas registradas. Los registros de las precipitaciones corresponden al Centro Regional Sur, en tanto que los registros de evaporación del "tanque A" se obtuvieron de la Estación Experimental INIA "Las Brujas" ubicada a 12 Km. de distancia lineal (gráfica 1).



Gráfica1. Evolución de las precipitaciones (PP) y la evaporación del tanque "A" (Eo) durante los meses del ensayo (noviembre de 2001-marzo 2002).

En la tabla N° 1 se presentan los valores mensuales de evaporación del "tanque A" junto a los de precipitación correspondientes a la temporada 2001-02 y los promedios diarios de cada mes.

TABLA 1. Evaporación del tanque A y precipitaciones en la temporada 2001-2002.

Mes	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	T ar A ual
Eo (mm)	48	60	93	86	174	205	208	152	101	78	51	49	1305
PP (mm)	43	115	57	217	127	58	52	79	509	105	173	37	1572
PPro (mm)	81	77	83	101	106	80	93	108	100	104	91	77	1100
Prob (%)	84	21	69	4	26	56	63	61	<3	42	10	77	4,7

Eo (Evaporación mensual del tanque "A"); PP (Precipitaciones mensuales en el Centro Regional Sur); P.pro (Precipitaciones promedio mensuales históricas para la zona de "Las Brujas" 1973-2000); Prob. (Probabilidades de ocurrencia).

En esta tabla puede verse que ocurrió una primavera lluviosa y un otoño muy lluvioso (ver octubre y marzo) donde se registraron las mayores precipitaciones. El verano fue moderadamente seco, en el que se registraron precipitaciones menores a las medias históricas. Para caracterizar este período por su nivel de precipitaciones y comparar la media mensual histórica con los registros mensuales de la temporada se manejaron registros históricos de lluvias de la estación meteorológica de INIA Las Brujas (1973-2000). Además se realizó con estos datos un cálculo de probabilidad de que se registre una precipitación igual o mayor a cierto valor con la formula:

$$P = n/(N+1)$$

Donde:

P- Probabilidad de que ocurra un evento igual o mayor al considerado

n - Número de registros de una serie ordenada del evento considerado

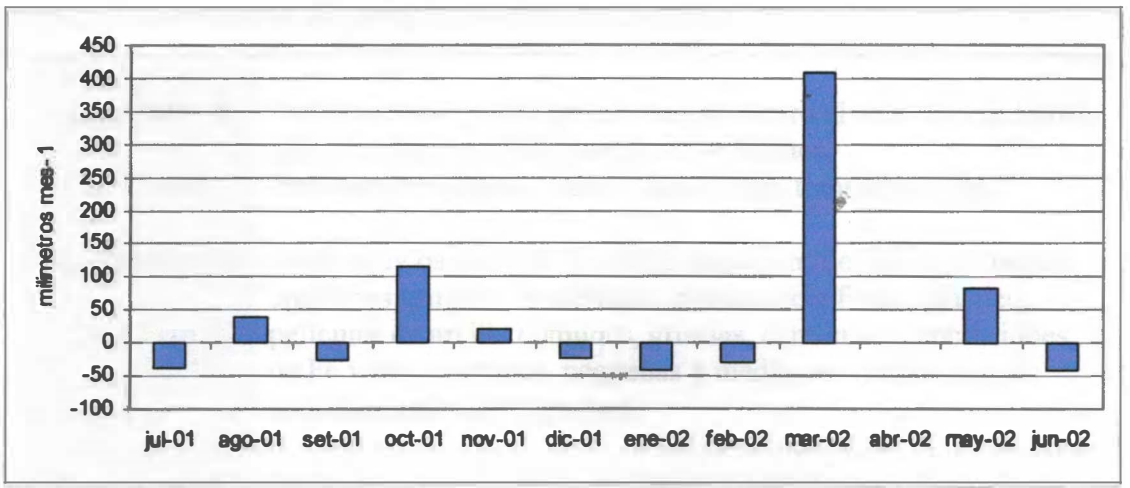
N - Número total de registros en la serie

Los resultados se presentan en la tabla 1.

Las cuatro estaciones presentaron los siguientes valores de probabilidad de que ocurran precipitaciones iguales o mayores a las registradas en el año de evaluación:

Primavera	(S,O,N)	de 2001	21 %
Verano	(D,E,F)	de 2002	72 %
Otoño	(M,A,M)	de 2002	<3 %
Invierno	(J,J,A)	de 2002	67%

Por otra parte se calcularon las diferencias encontradas en los años del ensayo y las medias históricas de INIA "Las Brujas" (ver gráfica 2).



Gráfica 2. Diferencias entre las precipitaciones registradas en el C.R.S. (julio de 2001-junio 2002) y las precipitaciones medias mensuales registradas en la estación meteorológica INIA Las Brujas en la serie 1973- 2000.

En la estación de crecimiento los meses de octubre y marzo superaron notoriamente a las precipitaciones medias históricas, pero no así el resto de los meses estudiados que estuvieron cercanos a la media histórica. En estos datos se observa que fue un año atípico, con una probabilidad de sólo el 4,7 % (tabla 1) de que ocurran precipitaciones superiores a las ocurridas, explicadas principalmente por la magnitud de las precipitaciones registradas en marzo.

3.4 SUELO

Según la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay 1:1000000 DSF, (URUGUAY. MGAP, 1976) la parcela en estudio se ubica en la unidad cartográfica Tala-Rodríguez, establecidas en laderas medianas, ligeramente convexas, pendiente general entre 3 y 4%, pendiente local 1,5%. El suelo sobre el que se instaló el ensayo corresponde a un Brunosol Eutrico Típico, de acuerdo a la descripción realizada en conjunto con los docentes de la cátedra de Edafología de la Facultad de Agronomía, cuya descripción del perfil de suelo en el camellón y análisis de textura se presentan en las tablas 2 y 3.

TABLA 2 Descripción del perfil del suelo en el camellón.

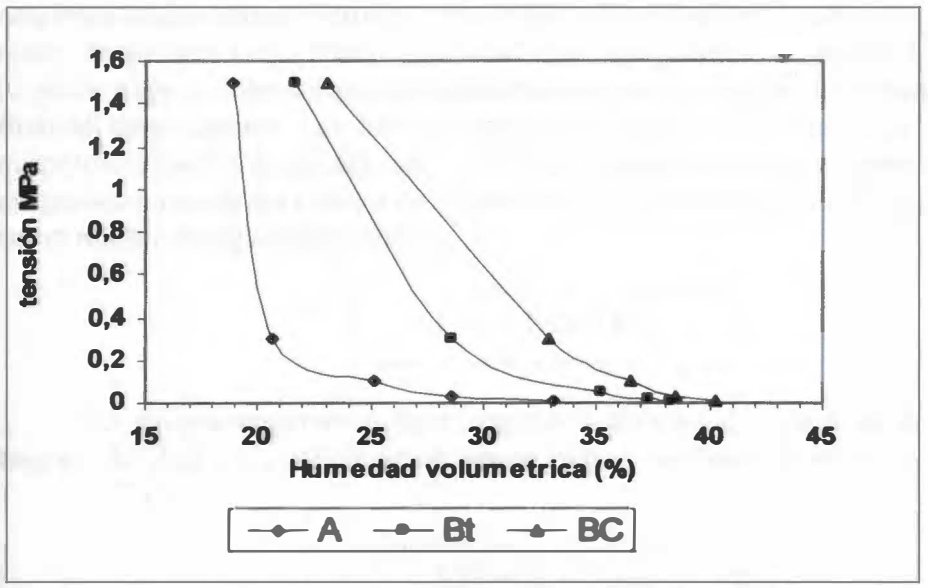
Horizonte A **0- 25 cm.**	Pardo oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2,5); franco limoso; bloques subangulares finos, fuertes, débilmente pegajoso, raíces abundantes, transición clara.
Horizonte Bt **25-42 cm.**	Pardo muy oscuro (10 YR 2/2), franco arcillo limoso, bloques angulares gruesos, moderados, consistencia firme, plástico; películas de arcilla comunes, gruesas, continuas; concreciones de Fe y Mn, comunes, pequeñas y medianas, friables, raíces comunes, transición gradual.
Horizonte BC **42-75 cm.**	Pardo grisáceo (10 YR 5/2),franco arcillo limoso, bloques angulares medios, moderados, plástico, películas de arcilla delgadas y gruesas que enmascaran el color de la matriz; concreciones de Fe y Mn, pocas, medianas y pequeñas, friables, raíces pocas; transición gradual.
Horizonte Ck **+ 75 cm.**	Mezcla de colores: pardo oscuro (7,5 YR 4/2) y pardo (105/2);arcillo limoso, caras de deslizamiento, concreciones de CaCO3 pequeñas y duras, a veces pulverulentas.

TABLA 3 Análisis textural.

HORIZ	PROF cm.	ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	TEXTURA
A	0-25	13	64	23	Franco limoso
Bt	25-42	8	33	59	Franco arcillo limoso
BC	42-75	7	36	57	Franco arcillo limoso

Para las determinaciones de las curvas de tensión de humedad y de la densidad aparente, se realizó una calicata hasta 1m de profundidad del suelo, a efectos de poder obtener de cada horizonte tres muestras imperturbadas mediante el uso del cilindro muestreador. Estas muestras se colocaron en la olla de tensión, siguiendo la metodología de Richards (1947,1949), y se sometieron a tensiones de 0.01, 0.03, 0.1, 0.3 y 1.5 Mpa para obtener las curvas de tensión humedad de cada perfil del suelo (Gráfica 3). Se determinó, así mismo, la humedad a Capacidad de Campo como el contenido de agua a una tensión de 0.01 Mpa, las que se corrigió por la profundidad a cada horizonte. De la

misma forma se obtuvo el contenido de agua a Marchitez Permanente con una tensión de 1.5 Mpa.



Gráfica 3. Curvas de tensión humedad para los tres horizontes del suelo

Posteriormente se determinó el agua disponible en todo el perfil del suelo como la diferencia entre el contenido de agua a la Capacidad de Campo y al Coeficiente de Marchitez Permanente (Tabla 4).

TABLA 4 Propiedades hídricas del suelo.

HORIZ	PROF cm.	CC mm/10cm	PMP mm/10cm	A.D. mm/10cm	A.D. mm/horz	D.Ap. $gr.cm^3$
A	0-25	33.11	18.88	14.23	35.57	1.12
Bt	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; PMP.: Punto de Marchitez Permanente
A.D.: Agua disponible, D.Ap.: Densidad Aparente.

Los valores del contenido de agua correspondientes a Capacidad de Campo y Coeficiente de Marchitez Permanente para los 75 cm. de profundidad fueron de 281 mm y 160 mm respectivamente.

3.5 PROGRAMACIÓN Y MANEJO DEL RIEGO

La fuente de agua utilizada la constituyó un tajamar. El equipo de riego contaba con una electrobomba centrífuga, y un cabezal con un filtro de arena y luego uno de malla. En la entrada del cuadro se encontraba un regulador de presión de 25 PSI. Las horas de riego se ingresaban semanalmente a un programador que comandaba el inicio y final del riego, diarios. Las dosis de riego suministradas se calcularon en base a la evapotranspiración diaria del cultivo (ETc), obtenida del producto entre la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) y el coeficiente del cultivo (Kc), como nuestra la siguiente ecuación:

$$ETc = ETo * Kc.$$

La evapotranspiración de referencia se determinó a partir de la evaporación del tanque "A" (Eo) y el coeficiente de tanque (Ktan), mediante la ecuación:

$$ETo = Eo * Ktan$$

Para la estimación de las necesidades se utilizaron los Kc de Allen et al. (1998) y los Ktan de Corsi (1994).

Para determinar la evapotranspiración potencial del cultivo corregida (ETc cor) de un monte joven, el dato antes obtenido se corrigió por el coeficiente de localización (Kl) de 0.85, debido a que era un monte joven y presentaba un 45% de área sombreada. Así extrapolando en la grafica de Fereres et al. (1981), corresponde a un 85% de la evapotranspiración de un monte adulto. Por lo tanto el valor final se obtuvo, introduciendo estos valores en la siguiente ecuación:

$$ETc(cor) = ETc * Kl$$

La dosis bruta de riego, en litros por árbol, se calculó multiplicando la evapotranspiración potencial del cultivo corregida, por el marco de plantación (mp) y se dividió por la eficiencia del método de riego (gotero, 90%), como muestra la siguiente ecuación:

Dosis Bruta = ETc (cor) * mp / ef método

Las horas de riego se determinaron por el cociente entre la dosis bruta y el producto del número de goteros por árbol (2.5) y por el caudal del gotero (Cgot), según la siguiente ecuación:

Horas de riego = dosis bruta / (N° got * Cgot)

Con estos datos, obtenidos diariamente, se calculó un promedio semanal que fue ingresado en el programador de riego al inicio de la semana siguiente.

El aporte de agua se realizó mediante emisores de flujo turbulento incorporados en una tubería de 15 mm. de diámetro nominal a un metro de distancia y con caudales de 2 y 4 l/h, según el tratamiento.

En la temporada se realizaron las pruebas de uniformidad de los goteros en el cual se constató que el caudal real de éstos fue superior al nominal como se observa en la tabla 5

Tabla 5. Caudales de los goteros del ensayo real y nominal en l/h.

caudal nominal	2	4
caudal real	2,3	4,4
% incremento	15,0	10,0

Ante la imposibilidad de corregir estas diferencias se trabajaron con los caudales reales para el procesamiento de la información.

3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño estadístico empleado fue el de bloques, en parcelas al azar, con tres repeticiones. Los bloques fueron formados por 3 filas de 27 plantas cada una. Cada parcela estaba formada por tres filas de 5 o 6 plantas evaluándose las tres plantas centrales de la fila del medio, quedando las restantes como borde.

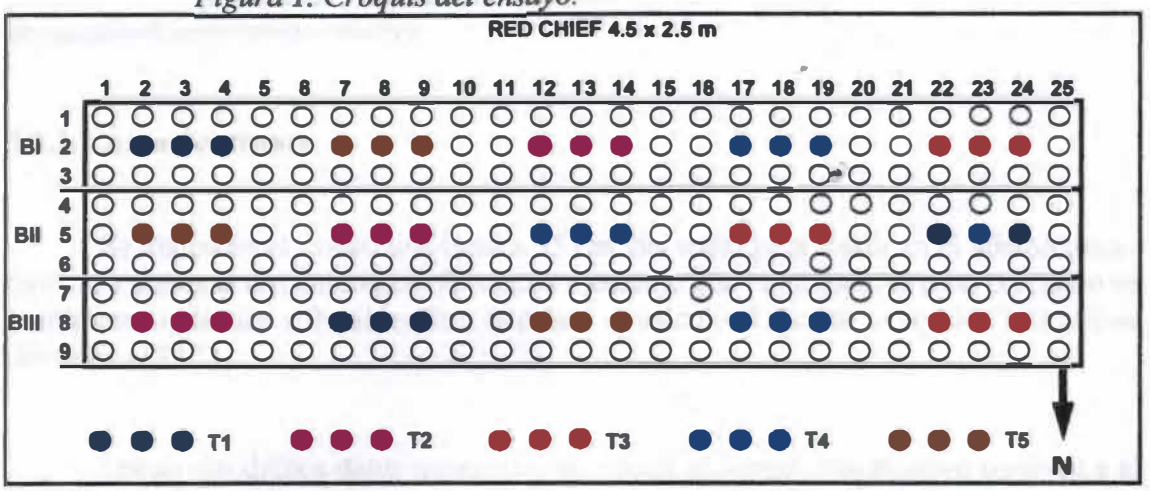
Se aplicaron cinco tratamientos de riego:

- **Tratamiento 1: (T1)** secano, sin riego, durante todo el ciclo.
- **Tratamiento 2: (T2)** se aplicó una dosis igual al 50% de la ETc calculada durante todo el ciclo.
- **Tratamiento 3: (T3)** se aplicó una dosis igual al 100% de la ETc calculada durante todo el ciclo.
- **Tratamiento 4: (T4)** se aplicó una dosis igual al 150% de la ETc calculada durante todo el ciclo.
- **Tratamiento 5: (T5)** se aplicó una dosis igual al 100% de la ETc calculada pero se comenzó a regar a partir del 15 de diciembre.

Las diferentes dosis se lograron regando durante el mismo tiempo y utilizando los goteros de 2 l/h en el T2, los de 4 l/h en el T3 y T5 y para el T4 se colocaron un gotero de 4 junto con uno de 2 l/h.

El diseño final del ensayo a campo se muestra en la figura 1.

Figura 1. Croquis del ensayo.



3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis se realizó por el paquete estadístico SAS (Statical Analysis Sistem). Se hizo un análisis de varianza en donde las medias de los tratamientos fueron comparadas a través de la prueba de Tukey con un alfa de 0.1. También se analizaron contrastes y se realizó el ajuste a un modelo lineal y cuadrático.

3.8 PARÁMETROS EVALUADOS

Se evaluaron parámetros de crecimiento vegetativo y contenido de agua en el suelo para la estación de crecimiento 2001-2002.

3.8.1 Evaluaciones del crecimiento vegetativo

3.8.1.1 Volumen de la copa

Se asoció el volumen de la copa del árbol al volumen de una pirámide de base rectangular, ya que por el sistema de conducción (líder central), se asemeja a esta forma geométrica. Para esto se midió en el lugar con una regla el ancho, largo y altura de la copa y se calculó el volumen aplicando la formula (a*l*h) /3. Se realizaron dos

mediciones, la primera el 3 de diciembre de 2001 y otra el 8 de abril de 2002, con estas se calculó el incremento relativo.

3.8.1.2 Área del tronco

Se marcó en el tronco una línea a 35 cm. del suelo para medir en el mismo lugar, todos los meses la circunferencia de tronco mediante una cinta métrica (con precisión de 1 milímetro) plástica y flexible. Con este dato se calculó el área de la sección transversal del tronco (STT).

Luego con dichos datos mensuales se calculó el incremento relativo mensual y el total de toda la estación.

3.8.1.3 Diámetro y longitud del brote

Se seleccionaron ocho brotes vegetativos al azar por árbol los que se identificados con cintas numeradas, a los cuales se les midió semanalmente la longitud desde la inserción hasta el ápice con una cinta métrica metálica con 1 milímetro de precisión y el diámetro sobre la segunda yema partiendo de la base, con un calibre digital con una precisión de 0.01 milímetro. Con estas medidas, se calcularon los incrementos relativos semanales y totales para ambos parámetros.

3.8.1.4 Poda invernal

En el mes de junio se realizó la poda invernal, cuantificándose posteriormente el número, el peso y el largo promedio, de los crecimientos del año.

3.8.2 Evolución de la humedad en el suelo

Para estimar el contenido del agua en el suelo se utilizó una sonda de neutrones marca "Troxler" y se calibró con una determinación gravimétrica.

En cada parcela se instaló un tubo de acceso de aluminio, de un metro de profundidad, para realizar las mediciones con la sonda de neutrones, las que se realizaron semanalmente durante todo el período del ensayo. Antes de cada medición, se realizó la estandarización de la sonda de neutrones en el tiempo de un minuto y se obtenía la lectura estándar. Se tomaban medidas a 20, 50 y 70 centímetros de profundidad. Luego se calculó el cociente entre la lectura del número de cuentas y la lectura estándard obteniendo así el valor de la relación correspondiente.

3.8.2.1 Calibración de la sonda

Para esto, se extrajeron muestras en las que se determinó directamente el contenido de agua en el suelo a las mismas profundidades que para el otro método, con un taladro de tipo Holandés. En cada punto se tomaba una muestra de aproximadamente 400 gramos de peso y dicha muestra se colocaba en cápsulas herméticas para evitar la pérdida de humedad en el traslado. Luego se pesó obteniendo el peso fresco de la muestra para posteriormente introducirlo en una estufa a 105 ºC de temperatura durante 48 horas y se registró su peso seco. El porcentaje de humedad del suelo se calculó con la fórmula:

$$H\%P = ((\text{Peso Húmedo} - \text{Peso seco})/\text{Peso Seco})*100$$

Los datos de la evolución de la humedad del suelo, finalmente se determinan en base a la regresión que se estableció entre los datos provenientes de la sonda y los de la determinación gravimétrica.

El resumen de la calibración de la sonda, en donde se muestran los rangos máximos y mínimos del ratio, y la humedad volumétrica en porcentaje para las tres profundidades de suelo calibradas, se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Rangos máximos y mínimos de ratio, contenido de humedad volumétrica en (%) para las tres profundidades calibradas.

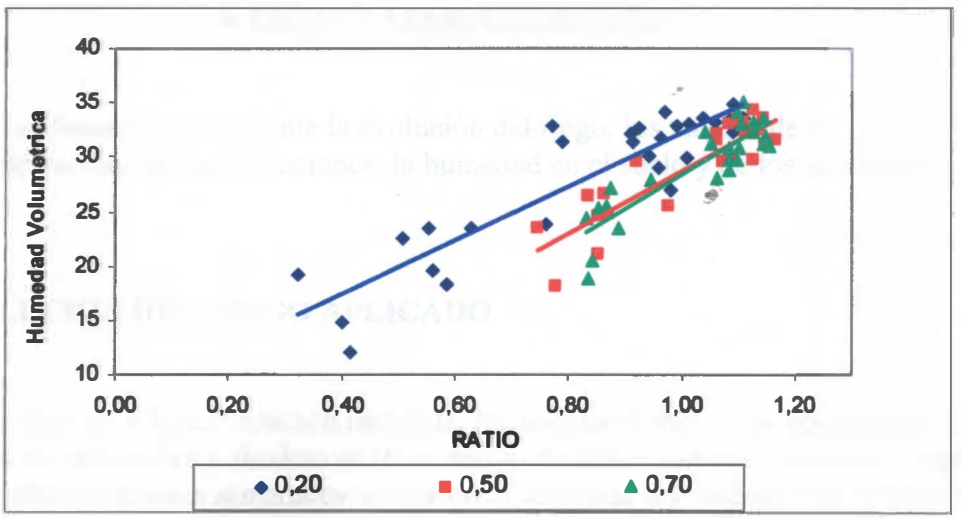
Horizonte	Nº de muestreos	Rango Ratio mínimos	máximos	Humedad Volumétrica (%) mínimos	máximos
20 cm.	28	0.39	1.08	19.37	38.21
40 cm.	25	0.79	1.16	30.90	45.34
70 cm.	26	0.88	1.15	32.95	44.56

Se ajustaron las ecuaciones de regresión correspondientes, encontrándose los respectivos coeficientes. Los valores de las tres ecuaciones encontradas fueron significativas con probabilidad < 0,01 % e índices de R^2 entre 0,77 y 0,82 para los horizontes BC y A respectivamente (Tabla 7).

Tabla 7. Ecuaciones de regresión halladas y R^2 para las tres profundidades analizadas.

Profundidad	*Regresión lineal*	*R^2*
20	*y = 24,48x +7,648*	*0,82*
50	*y = 28,73x -0,004*	*0,78*
70	*y = 31,53x - 3,198*	*0,77*

En la gráfica siguiente se presentan las regresiones calculadas para las tres profundidades estudiadas.



Gráfica 4. Rectas de regresión ajustadas para la calibración de la sonda, para las tres profundidades analizadas.

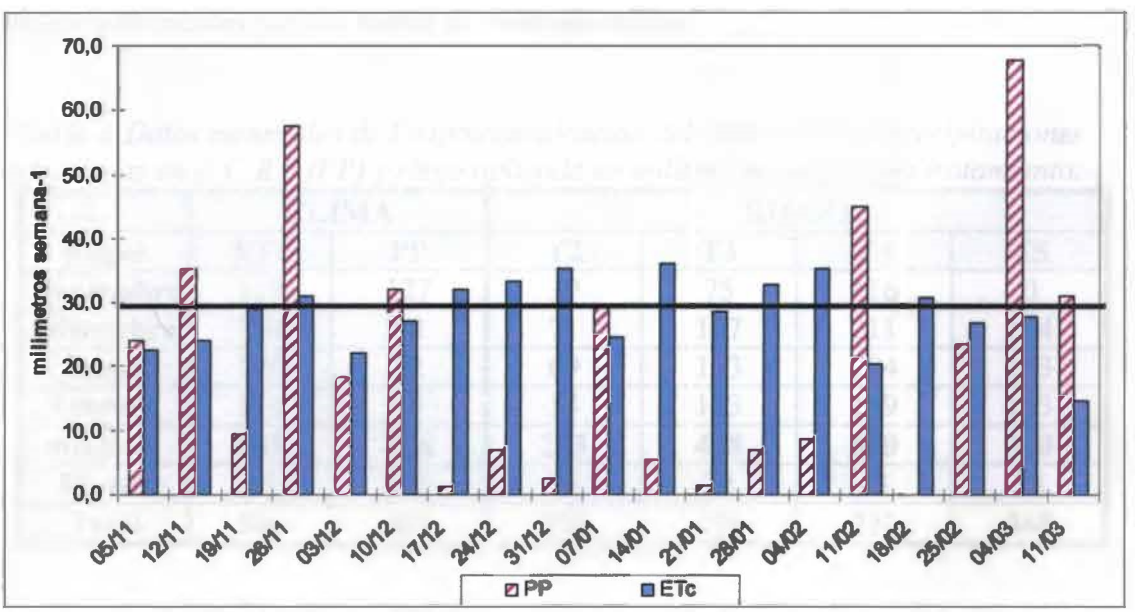
En base a las ecuaciones ajustadas, se calcularon los porcentajes de humedad del suelo para todos los tratamientos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presenta la evolución del riego, los valores de la evapotranspiración, las precipitaciones, la humedad en el suelo y de los resultados obtenidos.

4.1 EVOLUCIÓN DEL RIEGO APLICADO

De acuerdo a la información recogida, fue necesario iniciar las operaciones del riego el 14 de noviembre y finalizó el 10 de marzo de 2002. Antes y después de estas fechas las precipitaciones semanales superaron la demanda del cultivo (ver Gráfica 6).



Gráfica 5. Registros de precipitaciones semanales en el Centro Regional Sur (PP) y evapotranspiración potencial semanal del cultivo (ETc).

En este gráfico se pueden observar dos momentos de máxima demanda del cultivo: en la segunda quincena de diciembre y de mediados de enero a principios de febrero, por encima de los 30 mm de evapotranspiración semanal. En estos periodos también se registraron escasas precipitaciones que no cubrieron la demanda del cultivo, generando así un déficit hídrico.

El máximo consumo de agua se dio en la segunda semana de enero (5,2 mm/día) que corresponde a 58 litros por árbol y por día y el mínimo consumo fue en la segunda semana de marzo (2,1 mm/día) que corresponde a 23,4 litros por árbol.

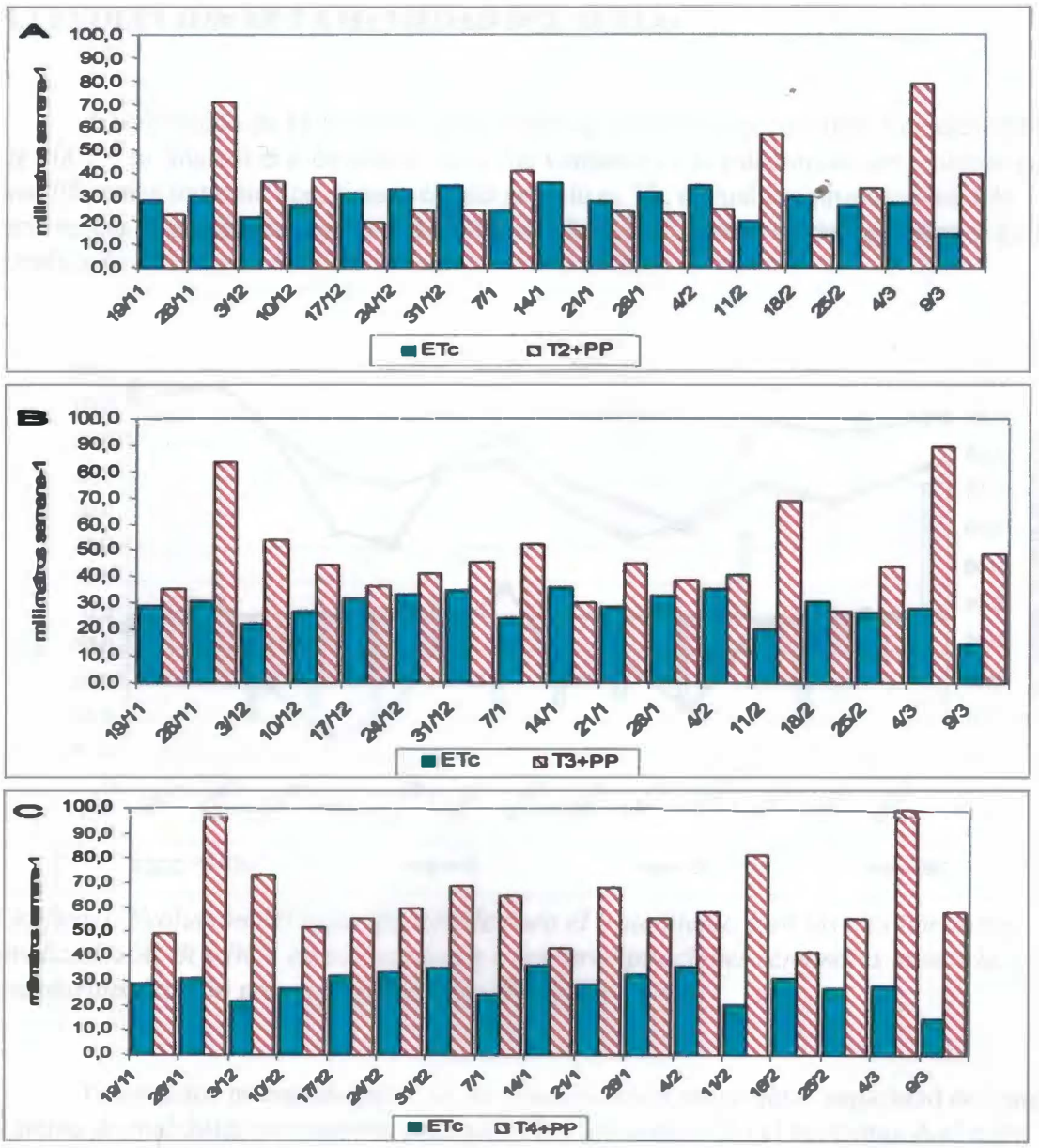
Según Rahardjo (1993), evaluando diferentes métodos de medición del consumo (entre ellos la sonda de neutrones) encontró que un árbol adulto consume entre 60 y 80 litros por árbol por día. Si bien nuestros datos se aproximan al consumo mínimo por él presentado, se puede atribuir la diferencia encontrada al coeficiente de localización que aquí se consideró, por ser un monte joven.

Como se observa en la tabla 8, la evapotranspiración total en el periodo fue de 566 milímetros, lo que representa un consumo estimado por árbol de 6367 litros. Estos datos se corresponden (factor de localización mediante) con otros estudios locales (García et al., 2003) donde estimaron en un período de seis años un consumo de 680 milímetros anuales para un monte de manzano adulto.

Tabla 8. Datos mensuales de Evapotranspiración del cultivo (ETc), precipitaciones registradas en el C.R.S (PP) y riego aplicado en milímetros, para cada tratamiento.

	CLIMA		RIEGO			
Meses	**ETc**	**PP**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**
Noviembre	119	127	39	75	116	0
Diciembre	134	58	71	137	211	104
Enero	136	52	69	133	204	133
Febrero	114	79	54	103	159	103
subtotal	**503**	**316**	**233**	**448**	**690**	**340**
Marzo	63	509	15	28	43	28
Total	**566**	**824**	**247**	**476**	**733**	**368**

Considerando el supuesto de que toda la precipitación fue efectiva, en los tratamientos 3 y 4 el total de agua recibida (suma del riego y precipitaciones) excedería la evapotranspiración del cultivo (gráfica 6B y C), sin embargo el T2 compensa dichos parámetros (gráfica 6A).

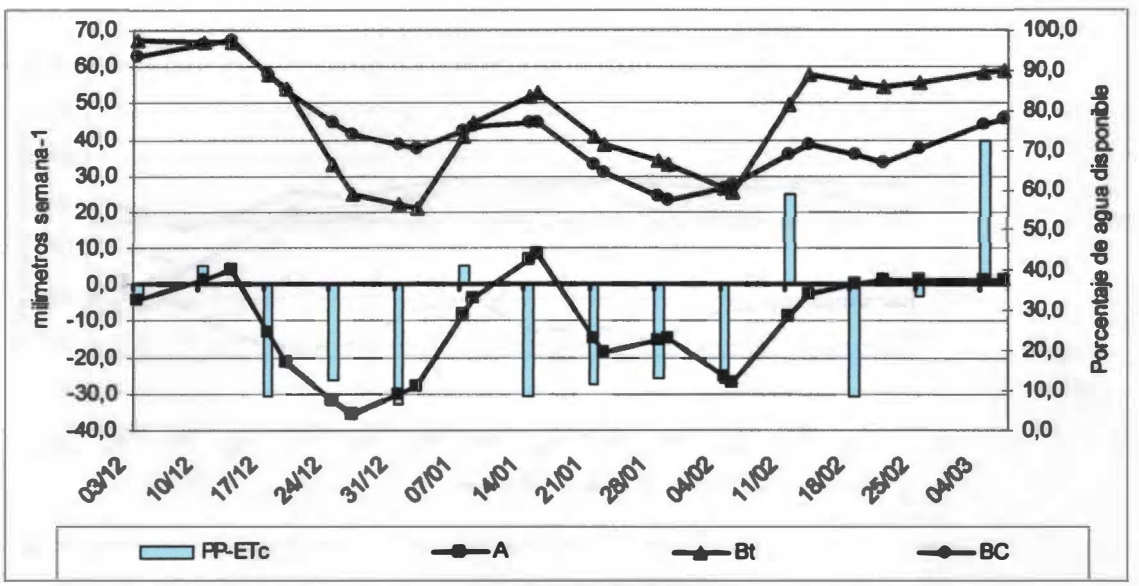


Gráfica 6. Comparación semanal de la Evapotranspiración del cultivo (ETc) con el agua recibida por el cultivo (suma de las precipitaciones PP y el riego) para los tratamientos: A) T2, B) T3 y C) T4.

El riego puede tener efectos perjudiciales cuando se producen excesos en la estación de crecimiento, ocasionados por la irregularidad de las lluvias (Beloqui, citado por Zoppolo y Pieroni, 1985), como le sucedió a los árboles de los tratamientos 3 y 4 que muestran excesos.

4.2 EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO

El contenido de la humedad en el suelo se comenzó a registrar el 3 de diciembre de 2001 y se finalizó el 6 de marzo. Esta fue variando en la estación de crecimiento en los diferentes tratamientos, siendo el más notorio el T1, el cual fue proporcional a la ocurrencia de precipitaciones y a la evolución de la ETc., como se puede observar en la Gráfica 7.



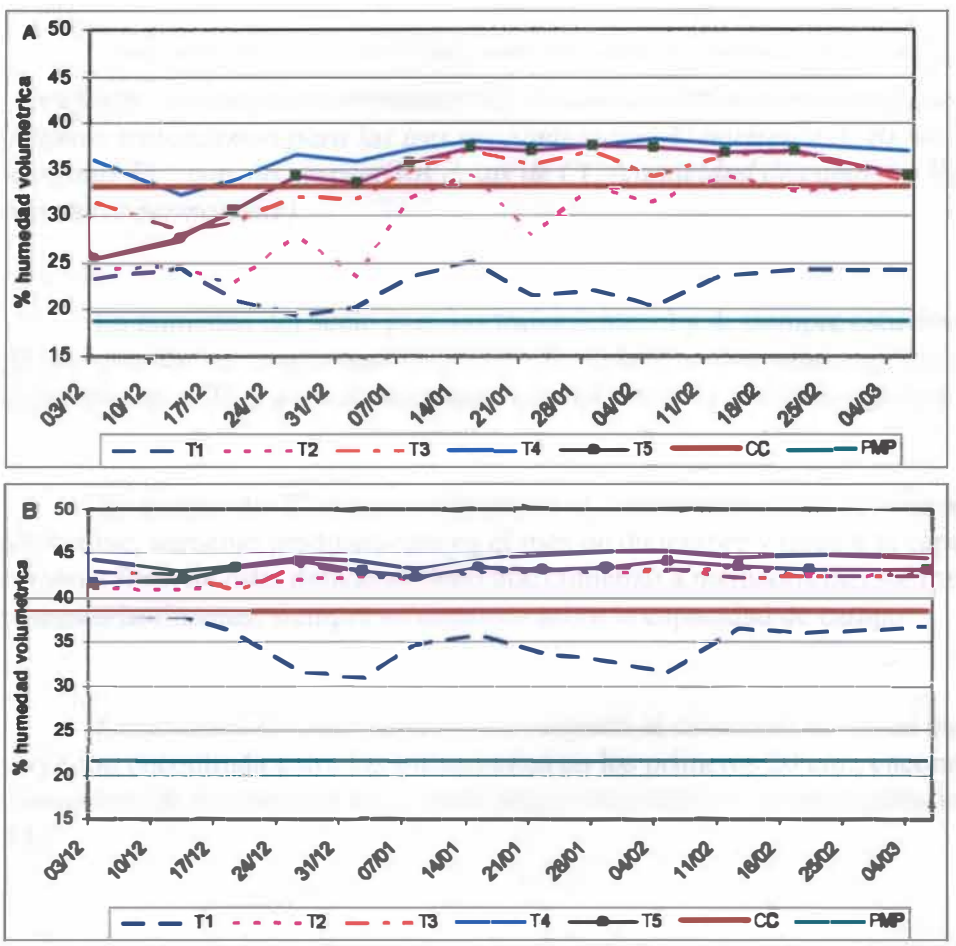
Gráfica 7. Evolución del agua disponible para el tratamiento 1 en los tres horizontes analizados(A, Bt y BC), en comparación a las precipitaciones semanales menos la evapotranspiración potencial del cultivo (PP-ETc).

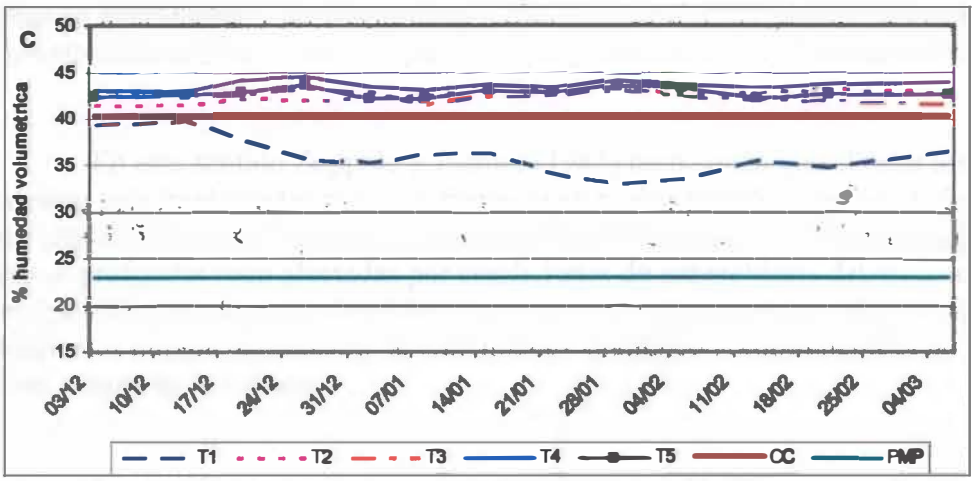
Estos datos muestran que el T1 se mantuvo en el rango entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente para todos los horizontes. En el horizonte A el agua disponible varió entre 4-40%, marcando dos períodos de déficit hídrico, uno en la segunda quincena de diciembre y el otro en la primera semana de febrero.

Hewett (1976) concuerda con Assaf et al. (1974) quienes determinaron el punto crítico como mínimo de 30% de agua disponible para manzanos. En nuestro caso en el horizonte A se mantuvo 50 días por debajo de dicho valor para dos periodos separados en el tiempo (gráfica 8). Los horizontes más profundos Bt y BC, se mantuvieron en un rango superior al 60% del agua disponible pero siguiendo el mismo patrón de variación

que el horizonte A. No llegaron, sin embargo al punto crítico mencionado ni presentaron excesos.

En el tratamiento 2 y en el horizonte A, el agua disponible del suelo aumentó de un 40% hasta la capacidad de campo, desde comienzos de la estación y hasta mediados de enero manteniéndose luego cercano a éste el resto de la estación (gráfica 8 A). Sin embargo los restantes horizontes estuvieron por encima de la capacidad de campo durante todo el período (gráfica 8 B y C).





Gráfica 8. Evolución del porcentaje de la humedad volumétrica en el suelo para los distintos tratamientos para las tres profundidades: A) horizonte A, B) horizonte Bt y C) horizonte BC, con sus respectivos datos de CC (capacidad de campo) y PMP (punto de marchitez permanente).

La humedad del suelo para los tratamientos 3 y 4, siempre estuvieron por encima de la capacidad de campo para las tres profundidades estudiadas, excepto en el mes de diciembre en el T3 y para el horizonte A donde estuvo por debajo (gráfica 8).

En el caso del T5 y para el horizonte A, comienza con un 50% de agua disponible, aumentó gradualmente en el mes de diciembre y llegó a la capacidad de campo a fines de este, debido al riego que comenzó a mediados de este mes. Para los restantes horizontes, siempre se mantuvo sobre la capacidad de campo.

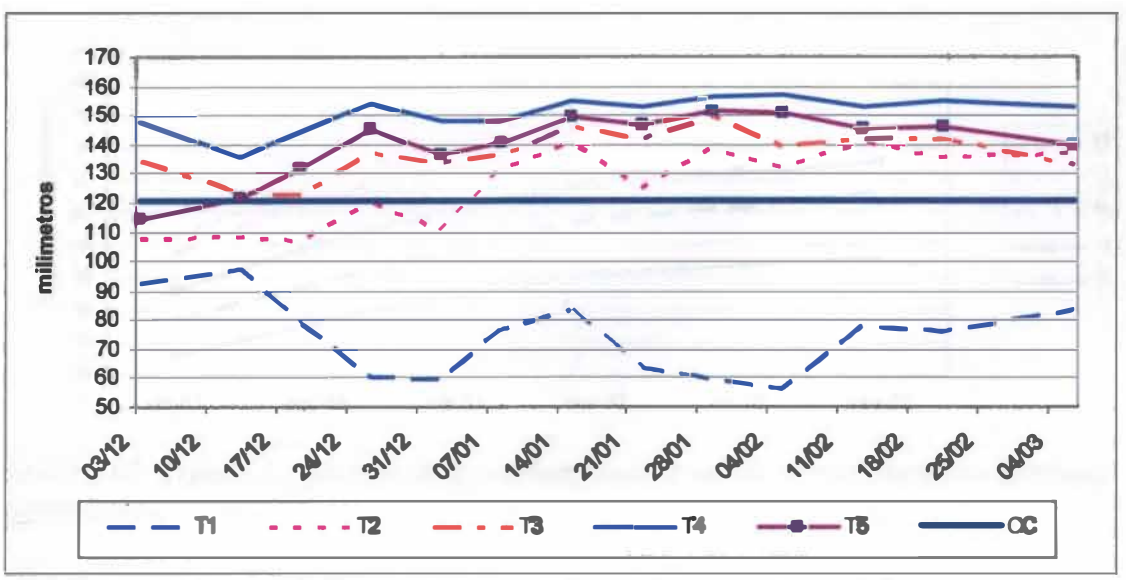
En resumen lo más relevante con respecto al contenido del agua en el suelo fue la variación encontrada entre los tratamientos en los primeros 20 cm., encontrándose un incremento de la humedad en el suelo según los caudales de riego aplicados (gráfica 8A).

En el caso de los horizontes más profundos y para todos los tratamientos, excepto el T1, los valores encontrados estuvieron en un rango de 40-45 % de humedad en volumen lo que produjo la saturación de éstos ocasionando condiciones de anegamiento, esto se debió al exceso de oferta hídrica (lluvias más riego). Se puede señalar, además, que el tipo de suelo, que presenta horizontes con alto contenido de arcilla, provoca un

drenaje insuficiente y un crecimiento radical limitado restringiendo la absorción principalmente al horizonte A, que es el que presenta las mayores variaciones.

En este sentido Zoppolo y Pieroni (1985) mencionan que al estar los montes de nuestro país implantados mayoritariamente en suelos pesados, con condiciones de drenaje deficitarios y sujetos a un régimen hídrico de gran variabilidad, es común que las raíces profundas sean afectadas por condiciones de anaerobiosis determinadas por los excesos de agua, lo que compromete seriamente la capacidad de absorber agua y nutrientes durante la estación de crecimiento, pudiendo comprometer la producción y la vida misma de los árboles.

La gráfica 9 muestra como evoluciona la humedad en todo el perfil de suelo para los diferentes tratamientos. El T1, en la estación, de crecimiento se mantuvo aproximadamente entre 60-80 milímetros de agua disponible en el perfil, el cual presenta 55,8 milímetros de agua disponible en el momento de mayor déficit hídrico, durante la primera semana de febrero y 97,1 mm de máximo contenido de agua. El resto de los tratamientos presentan exceso de agua excepto al comienzo del T2 y hasta la primera semana de enero, donde llega a capacidad de campo en el perfil y continua en exceso.



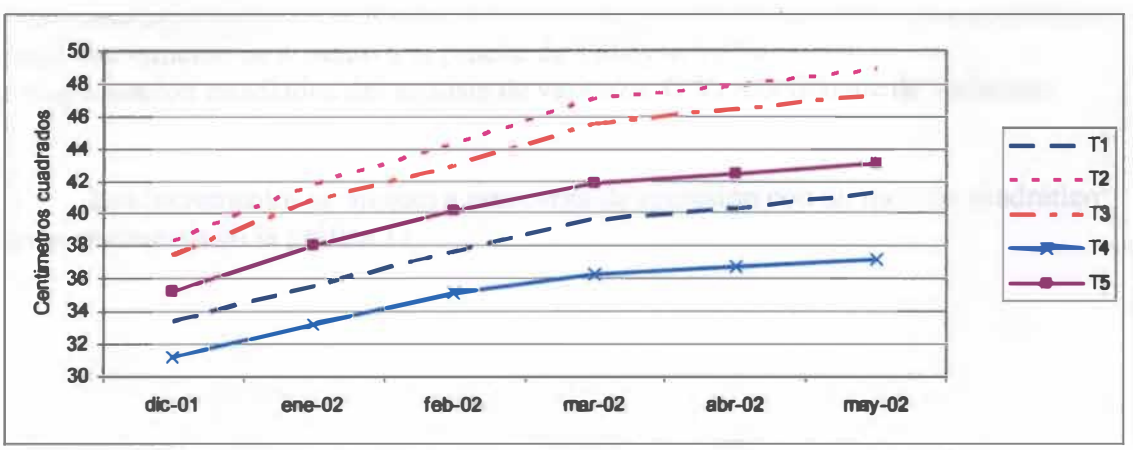
Gráfica 9. Evolución de la humedad en milímetros de agua disponible para todo el perfil de suelo para los diferentes tratamientos, CC (capacidad de campo).

4.3 EFECTOS DEL RIEGO EN EL CRECIMIENTO VEGETATIVO

4.3.1 Crecimiento del tronco

Los datos de este experimento muestran que la evolución del área de la sección transversal del tronco para cada fecha, no presenta diferencias significativas entre los diferentes tratamientos. Sin embargo, se evidenciaron tendencias que se mantienen en la estación de crecimiento: los tratamientos con estrés hídrico (T1 déficit, T4 exceso) fueron los de menor crecimiento, comparándolo con el T2 y el T3, que resultaron ser los de mayor crecimiento (gráfica 10),

Estos resultados coinciden con los de Spangenberg et al. (1985), que evidenciaron un mayor crecimiento del tronco en el ensayo bajo riego. No encontraron diferencias significativas entre tratamientos pero observaron el mismo comportamiento de crecimiento que proviene de años anteriores. Sin embargo Goode e Ingram (1971) encontraron diferencias significativas entre el regado con una ETc., el regado a la mitad de la ETc. y el secano.



Gráfica 10. Evolución del área de la sección transversal del tronco para los diferentes tratamientos.

En este ensayo se encontraron diferencias significativas en el incremento relativo total de la sección del tronco, y en algunos periodos (tabla 9). La diferencia se vió entre el T2 con un incremento en la estación de 26,7 % y el T4 con un 18,6 % de incremento, encontrándose el resto de los tratamientos entre estos valores sin presentar diferencias

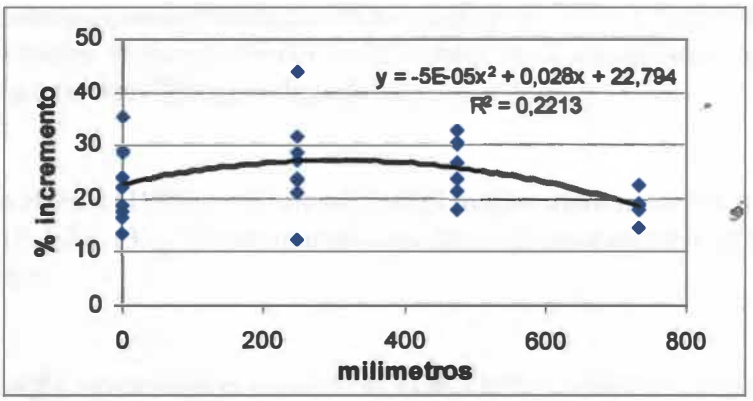
significativas. Esta diferencia se debió al exceso hídrico que presentó el T4 en todo el período, haciéndose cada vez más notorio en la estación.

Tabla 9. Incremento del área de la sección transversal del tronco (%).

	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	INCR. TOTAL
T1	6,04	4,30	5,52 ab	2,46 a	2,73	22,87 ab
T2	8,65	5,84	6,19 a	1,65 ab	2,00	26,69 a
T3	8,78	5,25	6,08 a	1,75 ab	1,93	25,97 ab
T4	6,30	5,45	3,42 b	1,08 b	1,28	18,63 b
T5	8,07	5,24	4,26 ab	1,24 ab	1,52	21,94 ab
p	ns	ns	0,0188	0,0881	ns	0,0719
C.V.			36,62	64,21		26,35
T1 vs resto			Ns	0,0140		ns
T2 y T3 vs T4			0,0021	ns		0,0059
T3 vs T5			0,0473	ns		ns
Lineal						ns
Cuadrática						0,00118

Cada valor es la media de 9 árboles. Las medias seguidas de la misma letra no difieren significativamente de acuerdo a la prueba de Tukey al 10 %.
p -significación estadística del análisis de varianza. C.V. -coeficiente de variación.

Los incrementos se ajustan a una curva de regresión con un modelo cuadrático como se observa en la gráfica 11.



Gráfica 11. Curva de regresión de la respuesta de los incrementos relativos del área de la sección transversal del tronco a los milímetros de riego aplicados.

En el período de diciembre a febrero, se observó la mayor tasa de incremento de la sección transversal del tronco (siendo máxima en el mes de diciembre) la que cayó abruptamente en marzo para todos los tratamientos (tabla 9).

Los meses donde se observaron diferencias significativas entre los tratamientos fueron febrero y marzo (tabla 9). En febrero, el T2 y T3 fueron significativamente mayores con respecto al T4, observándose también en los contrastes. Esto puede ser explicado por el exceso hídrico que presento éste tratamiento provocando también un menor incremento total en la estación.

En marzo el T1 se diferencia significativamente de T4 y tiende a tener la mayor tasa de incremento con respecto al resto de los tratamientos.

En el caso del T1, en el período de mayor demanda hídrica, éste tendió a tener menor tasa de incremento, revirtiéndose la tasa en marzo debido a que ocurrieron abundantes precipitaciones que incrementaron el nivel de agua disponible. Esto también explica el contraste en marzo de T1 vs resto, debido a que el crecimiento del tronco es sensible a los déficit hídricos en todo el período, dado que el engrosamiento del tronco ocurre en toda la estación (Maggs, Salter y Goode, citados por Fereres y Goldhamer, 1990).

Varios autores coinciden con los resultados aquí presentados, de que al aumentar las dosis de riego hasta capacidad de campo se incrementa el área de la sección

transversal del tronco (Goode y Hyrycz 1964, Assaf et al. 1975, Cripps 1981, Assaf et al. 1989). Sin embargo Beukes y Weber (1982) obtuvieron los mejores incrementos manteniendo el suelo con 85% agua disponible.

También Barros (1998) en Chile obtuvo el mayor incremento de tronco regando al valor total de la ETc. (33,2%) comparado con los regados a menores o mayores regímenes hídricos.

Sin embargo, otros autores como Pola et al. (1991), Gómez (1996), no encontraron diferencias significativas en el crecimiento del tronco a pesar de que los árboles en secano sufrieron un mes sin precipitaciones a partir de mediados de diciembre. Estos autores suponen que el no efecto del riego es debido a que el tipo de suelo del ensayo era muy arcilloso y profundo con alta capacidad de retención de agua, como el caso del suelo de este ensayo, que minimizó la incidencia de los déficits hídricos.

4.3.2 Volumen de la copa

No se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos en el incremento total en este parámetro, observándose la tendencia de que el T1 fue el que tuvo un incremento mayor (51 %) y el T4 un incremento menor (30 %) en la estación de crecimiento (tabla 10).

Tabla 10. Análisis del volumen de la copa (m^3) al inicio y al final de la estación y su incremento relativo (%).

	3.12.01	8.4.02	Incremento.%
T1	1,71 ab	2,58 ab	51,13
T2	1,89 a	2,74 a	44,71
T3	1,43 ab	2,08 ab	46,12
T4	1,24 b	1,62 b	30,28
T5	1,83 a	2,64 a	44,18
P	0,0301	0,0241	ns
C.V.	28,35	24,23	
T1 vs resto	Ns	ns	ns
T2 y T3 vs T4	0,0449	0,0755	ns
T3 vs T5	0,0689	0,0487	ns
Lineal			ns
Cuadrát			ns

Cada valor es la media de 9 árboles. Las medias seguidas de la misma letra no difieren significativamente de acuerdo a la prueba de Tukey al 10 %.
p -significación estadística del análisis de varianza. **C.V.** -coeficiente de variación.

Los tratamientos 2 y 5 fueron significativamente mayores que el T4, no observándose diferencias significativas con el resto. En los contrastes también se observó que el tratamiento con exceso hídrico tuvo menor volumen de copa con respecto al T2 y T3 (tabla 10). Comparando el T3 con el T5, éste último tuvo mayor tamaño.

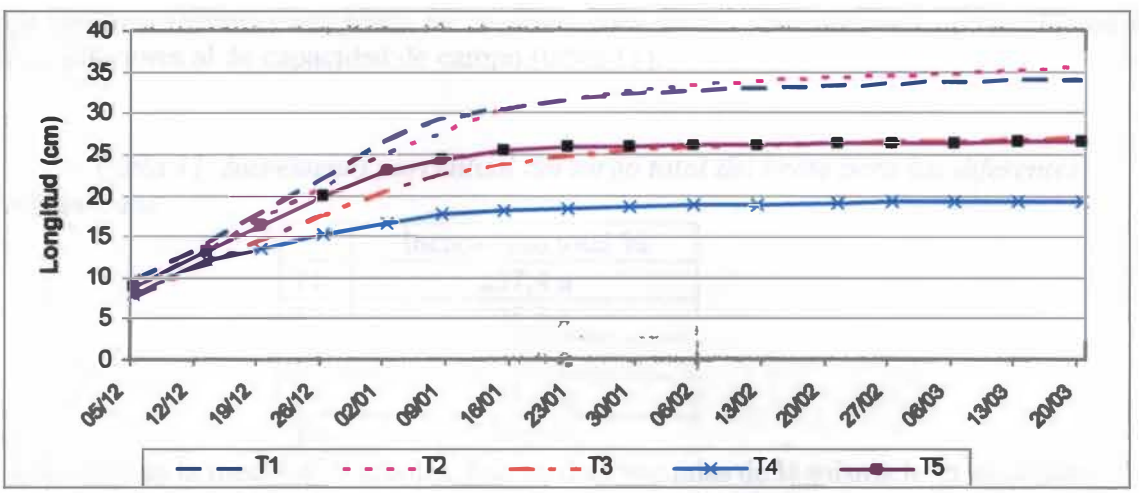
Los datos aquí presentados no coinciden con los de Barros (1998), quien observó que el crecimiento vegetativo en la estación (largo del líder central y ramas laterales) fue mayor en el de 100% ETc. y menor en el de 20% ETc., ni tampoco con los de Cripps (1981) quien logró mayor volumen de copa en los árboles mantenidos a capacidad de campo.

4.3.3 Crecimiento del largo de los brotes

Dos aspectos importantes a considerar en este punto son la evolución de la longitud del brote y el estudio de sus incrementos, así como el de su diámetro.

4.3.3.1 Evolución de la longitud del brote

La longitud de los brotes al final de la estación de crecimiento muestra tres grupos de respuestas: el mayor crecimiento con 35 cm. (T2 y T1), el medio, con 27 cm. (T3 y T5) y el menor en el T4, con solo 19 cm. (gráfica 12).



Gráfica 12. Evolución de la longitud del brote para los diferentes tratamientos, (cm.).

Durante toda la estación, los crecimientos de los brotes de los árboles de los tratamientos T2 y T1 fueron significativamente mayores que los del T4 (exceptuando la primera quincena de diciembre) y los del T3 y T5 que se mantuvieron en la estación juntos en un punto intermedio, no presentando diferencias significativas con el resto. Algo similar se muestra en los contrastes (tabla anexo I) en el cual el T1 se diferencia significativamente del resto y también del T2 y T3 con el T4, no habiendo diferencias en el contraste del T3 vs. T5.

4.3.3.2 Incremento del largo del brote

Los mayores incrementos se encontraron en los árboles de los tratamientos T2, T3 y T1 que se diferenciaron significativamente del T4, en la estación de crecimiento (tabla 11).

Beukes y Weber (1982) encontraron que la evapotranspiración aumenta a medida que el agua disponible es mayor, incrementándose a su vez el crecimiento de brote, efectos que se encontraron correlacionado positivamente. Otros autores concuerdan (Goode e Ingram 1971, Assaf et al. 1974, Cripps 1981, Figueroa 1990, Henríquez 1994, Barros 1998, Mpelasoka et al. 2001) que al aumentar las dosis de riego hasta llegar a capacidad de campo, aumenta también el crecimiento del brote.

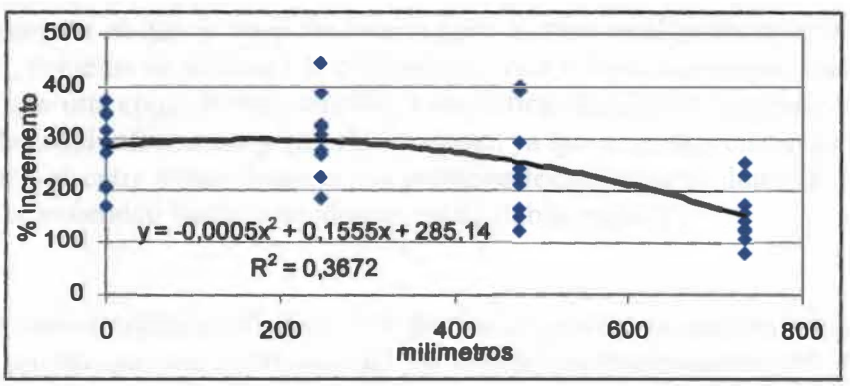
Esta situación no se observó en este ensayo, ya que si bien para T2 y T3 se dan los mayores incrementos, estos no se diferencian de T1 que presentó niveles hídricos muy inferiores al de capacidad de campo (tabla 11).

Tabla 11. Incremento porcentual del largo total del brote para los diferentes tratamientos

	Incremento total %
T1	257,4 a
T2	305,5 a
T3	269,6 a
T4	155,0 b
T5	219,6 ab

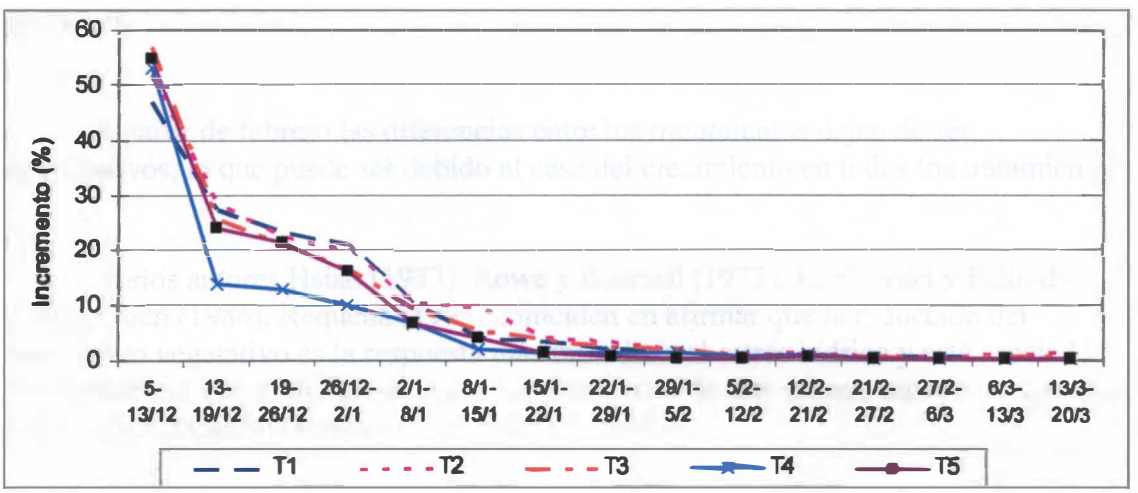
Cada valor es la media de 9 árboles. Las medias seguidas de la misma letra no difieren significativamente de acuerdo a la prueba de Tukey al 10 %.

Los incrementos totales se ajustan a una curva de regresión con un modelo cuadrático como se observa en la gráfica 13.



Gráfica 13. Curva de regresión de la respuesta de los incrementos relativos del largo total de los brotes a los milímetros de agua aplicados por el riego.

Como se observa en la gráfica 14 la tasa de incremento del largo de los brotes fue más alta en el inicio del crecimiento vegetativo, para luego ir decreciendo hasta mediados de enero, cuando prácticamente se detiene, en todos los tratamientos (gráfica 14). Estos resultados concuerdan con los de Forshey et al. (1983) que indican que el crecimiento de los brotes es muy rápido en las 3 a 4 primeras semanas después de la floración y se completa a mediados de verano.



Gráfica 14. Evolución de los incrementos relativos semanales de largo de brote para los diferentes tratamientos.

Los resultados aquí presentados coinciden con los de Landsberg y Jones (1981), Irving y Drost (1987) donde se puede identificar una primera fase de alta tasa de crecimiento en la longitud del brote. También coinciden con los primeros prácticamente en el momento en que se da el fin de esta fase. Si bien en el presente trabajo ésta se adelanta, el efecto se debería a la competencia con el crecimiento del fruto. Agregan además que esta etapa es muy sensible a los déficit hídricos, lo que concuerda con los resultados aquí informados y en este concepto, ya que se evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos en las primeras fechas de la evaluación (fase primaria), los que se extienden hasta mediados de enero (tabla anexo 2).

Como también se observa en la gráfica 14, dentro de este periodo inicial se destaca un marcado decrecimiento del T4, el cual cae abruptamente del 53% al 14% en una semana, diferenciándose significativamente del resto. Estos resultados coinciden con los de Landsberg y Jones (1981) quienes encontraron que en similar periodo, las tasas de incremento declinan antes, en plantas bajo stress. Si se observa el contenido de

agua en ese momento (gráfica 8A) se ve que el horizonte A comienza a evidenciar excesos hídricos.

En la semana del 8 al 15 de enero, se observa que el T2 se diferencia significativamente como el de mayor tasa de incremento con respecto a los otros tratamientos (tabla anexo II). En ese momento el T2 tenía un nivel óptimo de agua disponible y el resto se encontraban con excesos (T3, T4 y T5) o en déficit hídricos (T1) (gráfica 9).

A partir de febrero las diferencias entre los tratamientos dejan de ser significativos, lo que puede ser debido al cese del crecimiento en todos los tratamientos.

Varios autores Hsiao (1973), Rowe y Bearsell (1973), Kozlowski y Pallardy (1984), Olien (1986), Requena (1995) coinciden en afirmar que la reducción del crecimiento vegetativo es la respuesta más inmediata al estrés hídrico y está asociado con el exceso o con el déficit de agua. Los resultados de este ensayo mostraron que tuvo mayor efecto negativo el exceso que el déficit hídrico.

El T4 tuvo un 40 % menos de incremento total con respecto al T1. Este resultado coincide con los datos del ensayo de Olien (1986) quien evaluó durante tres años el efecto del anegamiento sobre el crecimiento vegetativo de manzanos y encontró una reducción de un 41% con respecto al testigo en los árboles que fueron mantenidos con excesos de agua en la primavera y el verano.

Por otro lado los crecimientos de los árboles de este tratamiento fueron los más afectados, como se demuestra con el análisis de los contrastes de T2 y T3, en el cual se obtuvieron diferencias significativas (tabla anexo II).

El T1 presentó déficit hídrico en cierto período en el perfil. Sin embargo estos déficit no llegan a afectar el incremento total, como puede ser observado en el contraste de T1 vs resto de los tratamientos, el cual no fue significativo.

Con respecto a los momentos de riego los árboles de los tratamientos T3 vs T5, tuvieron un incremento total de brote, que no fueron significativamente diferentes, aunque hay una tendencia favorable al T3.

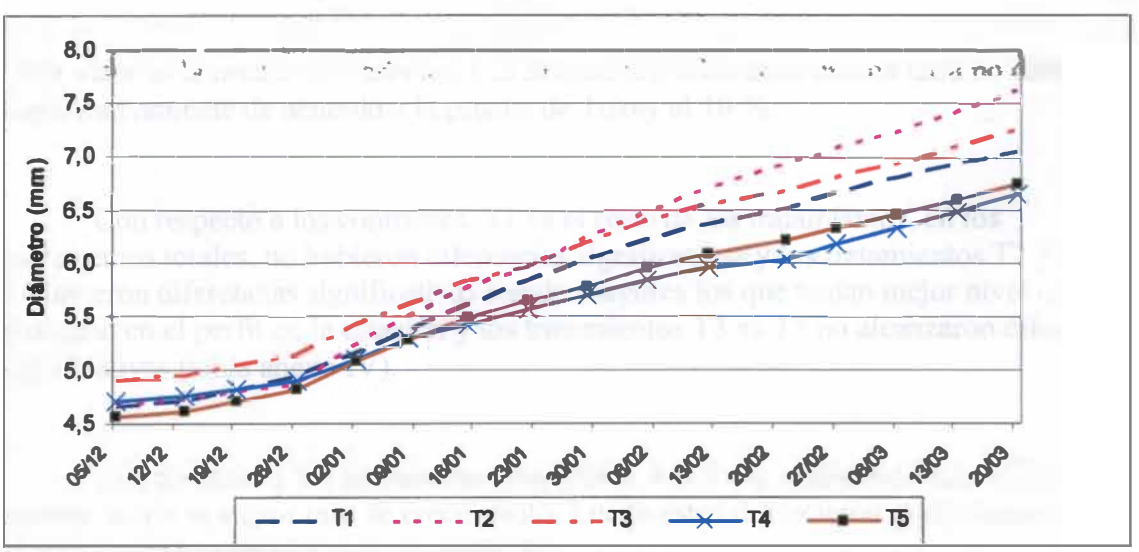
4.3.4 Crecimiento del diámetro de los brotes

Forshey et al. (1983) establecieron que la mayor parte del incremento del peso seco de los brotes esta asociado con el crecimiento secundario que ocurre después del cese del crecimiento en longitud. En el ensayo aquí informado, el final del incremento en longitud se superpuso en parte con la tasa máxima de crecimiento en diámetro de los brotes analizados. Por lo tanto, la falta de agua, luego de la elongación de los brotes, afecta el engrosamiento de los mismos (Childers, 1982).

Wilcox, citado por Forshey y Elfving (1989) encontró una correlación positiva entre el crecimiento de los brotes y el crecimiento del tronco en manzanos. Esto coincide con los resultados encontrados en los incrementos totales de los árboles de este ensayo para ambos parámetros.

4.3.4.1 Evolución del diámetro del brote

En todos los tratamientos de este ensayo, las diferencias significativas se dan desde el 29/1 hasta la última medición, el 20/3. El T4 y el T5 tuvieron el menor diámetro final de brote con 6,64 mm y 6,75 mm respectivamente. Estos se diferenciaron significativamente sólo del T2, que fue el de mayor crecimiento (7,6 mm de diámetro final) (gráfica 15).



Gráfica 15 Evolución semanal del diámetro de los brotes para los diferentes tratamientos.

En la gráfica anterior se puede ver que los árboles de los T1 y T3 tuvieron un diámetro final intermedio sin diferencias significativas con los demás tratamientos. También se observa que al inicio de la estación, T3 tenía mayor diámetro de brote y a mediados de enero lo superó T2. Estos resultados podrían haber sido probablemente debidos al exceso hídrico que comenzó a tener efecto sobre éste parámetro, con respecto al T2 que se mantuvo en un mejor nivel, situación que coincide con la de Henríquez (1994) que regando con la mitad de la ETc., obtuvo el mayor diámetro de los brotes en manzanos.

4.3.4.2 Incremento del diámetro de los brotes

El incremento total del diámetro de los brotes mostró diferencias significativas (tabla 12) siendo mayor el del T2, menor el T3, T4 y T5, e intermedio el T1, resultados que se pueden explicar por el contenido del agua del suelo, el cual fue óptimo para el T2 en todo el periodo (gráfica 9).

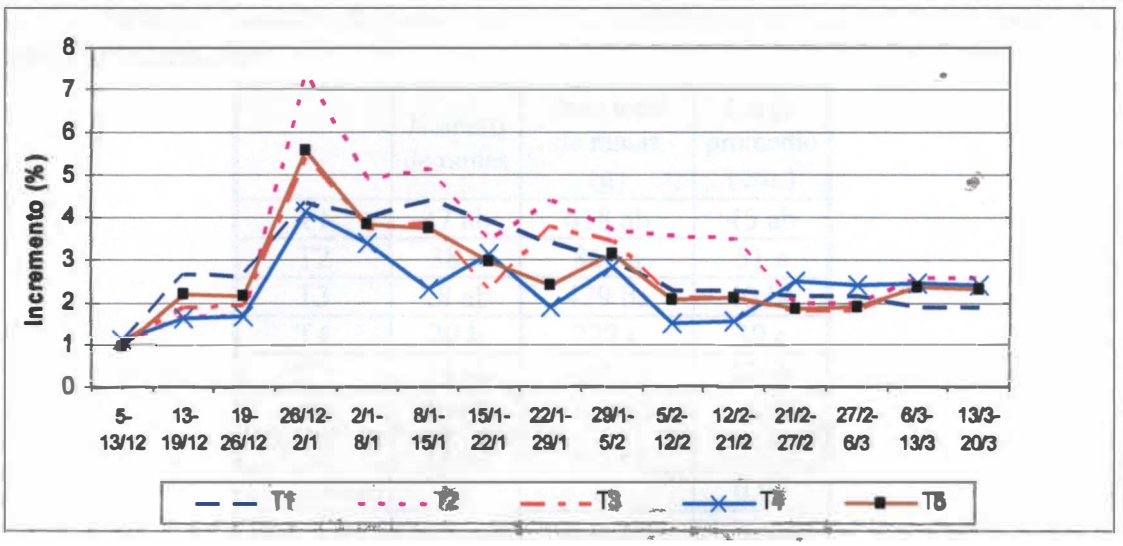
Tabla 12.Incrementos relativos totales del diámetro del brote en los diferentes tratamientos.

	Incremento total %
T1	51,7 ab
T2	63,0 a
T3	48,4 b
T4	41,3 b
T5	47,9 b

Cada valor es la media de 9 árboles. Las medias seguidas de la misma letra no difieren significativamente de acuerdo a la prueba de Tukey al 10 %.

Con respecto a los contrastes, T1 vs el resto de los tratamientos, en los incrementos totales, no hubieron diferencias significativas y los tratamientos T2 y T3 vs T4 tuvieron diferencias significativas siendo mayores los que tenían mejor nivel de humedad en el perfil en la estación y los tratamientos T3 vs T5 no alcanzaron diferencias significativas (tabla anexo IV).

Con respecto a los incrementos semanales, éstos son crecientes hasta el 2/1, cuando se dio la mayor tasa de crecimiento. Luego estos decrecieron gradualmente hasta el 29/1 cuando se estabilizaron (gráfica 16).



Gráfica 16. Evolución de los incrementos relativos semanales del diámetro del brote para todos los tratamientos.

Los análisis estadísticos realizados demuestran que existieron diferencias significativas entre los tratamientos en todas las mediciones, desde el 26/12 al 21/2. El T2 fue el de mayor crecimiento que se diferenció del resto (tabla anexo IV).

A fines de diciembre, cuando se da la mayor tasa de incremento del diámetro de brote para todos los tratamientos, se observa que los tratamientos con déficit (T1) y exceso (T4) hídrico tienen menores tasas que el T2 (gráfica 16).

En ese aumento, el T2 tenía nivel óptimo de agua en su perfil (gráfica 9). Los T3 y T5 tuvieron una tasa media probablemente porque comenzaban a presentar exceso hídrico.

4.3.5 Poda de invierno

La tabla 13 resume las mediciones efectuadas durante la poda de invierno. En la misma se observa que para todos los parámetros de medición, como número de ramas por árbol, peso y largo promedio, el T2 obtuvo los mayores valores, diferenciándose significativamente con respecto al T4, quien tuvo los menores valores.

Tabla 13. Medidas de los diferentes parámetros de poda de invierno para los distintos tratamientos.

	Numero de ramas	Peso total de ramas (g)	Largo promedio (cm.)
T1	37 ab	618 ab	45 ab
T2	38 a	865 a	51 a
T3	28 ab	479 bc	40 bc
T4	20 b	227 c	30 c
T5	33 ab	490 bc	42 ab
P	0,065	< 0.0001	0,0009
C.V.	45,69	42,43	21,90
T1 vs resto	ns	ns	0,06
T2 y T3 vs T4	0,035	<0.0001	0,0007
T3 vs T5	ns	ns	ns
Lineal	0,0022	0,0011	0,0013
Cuadrática	ns	0,0051	0,0238

Cada valor es la media de 9 árboles. Las medias seguidas de la misma letra no difieren significativamente de acuerdo a la prueba de Tukey al 10 %.
p -significación estadística del análisis de varianza. C.V. -coeficiente de variación.

En el parámetro número de ramas, el T2 fue significativamente mayor que el T4, (con un 47%) no encontrándose diferencias en el resto de los tratamientos.

El largo promedio de las ramas fue significativamente mayor el T2 respecto a los T3 y T4, (en 11 y 21 cm.) respectivamente y los tratamientos T5 y T1 son significativamente mayores que el T4, lo que es consistente con los resultados del crecimiento final de los brotes que tuvieron similar patrón de repuesta a los tratamientos.

En el parámetro peso total, el T2 es significativamente mayor que el T3, T4 y T5, siendo la diferencia de 45; 74 y 43% respectivamente y también el T1 fue significativamente mayor que el T4, en un 63%.

Higgs y Jones (1990), durante tres años de evaluación encontraron que las plantas mantenidas cercanas a la capacidad de campo, tuvieron entre un 13 y un 20%

más de peso acumulativo de poda invernal anual que las del secano. En este ensayo si se compara el T1 con el T2, que estuvo en niveles más cercanos a los de capacidad de campo, el peso de la poda invernal fue un 40% mayor, resultados que también obtuvo Cripps (1981) (40% más de peso de poda en árboles mantenidos a capacidad de campo con respecto al secano).

En análisis de los contrastes, para la comparación T1 vs el resto de los tratamientos solo se encontraron diferencias significativas para el parámetro de la poda largo promedio. Para el contraste T2 y T3 vs T4 fueron todos los parámetros significativamente mayores. Por ultimo el contraste T3 vs T5 no fue significativo, lo que significaría que no tuvieron efecto los diferentes momentos de riego.

5. CONCLUSIONES

Para todos los parámetros evaluados del crecimiento vegetativo de los árboles sometidos a los diferentes tratamientos, se encontró que los manzanos tuvieron respuestas relativas diferentes a los niveles de agua disponible en el suelo. Así:

El crecimiento vegetativo se vio favorecido con un óptimo nivel de agua disponible. El tratamiento que logró dicho nivel fue el T2 en el cual la humedad del perfil fue la más cercana a la capacidad de campo en todo el período a partir de enero.

Los riego aplicados en el T4 durante todo el período de crecimiento, mantuvieron el perfil del suelo con mayor grado de saturación de agua, lo que produjo el menor crecimiento vegetativo.

El T1 tuvo el menor contenido de agua en el perfil en toda la estación. Sin embargo, no tuvo el menor crecimiento vegetativo como se esperaba. Lo que se interpreta como que nunca llegó a un nivel crítico de humedad en el perfil, debido al régimen de precipitaciones ocurridas en el período de análisis de este ensayo.

Los valores calculados de la demanda hídrica del cultivo pudieron haber sido sobreestimados por ciertos elementos como el coeficiente del cultivo y el coeficiente de localización, principalmente en el nivel de agua disponible y la respuesta del crecimiento vegetativo del T2 respecto al T3, lo que estaría expresando la necesidad de ajustarlos para las condiciones locales.

Se entiende que existieron otros factores como la ausencia de frutos en las plantas, el portainjerto franco, la característica varietal y el suelo arcilloso con alta capacidad de retensión, que minimizaron las diferencias entre los tratamientos.

La época de comienzo del riego al comparar T3 con T5, no introdujo diferencias significativas en los distintos parámetros de crecimiento vegetativo evaluados.

Comparando los dos tratamientos que estuvieron bajo estrés hídrico, se puede ver que el tratamiento con exceso de humedad (T4) tuvo una mayor incidencia en la reducción del crecimiento vegetativo que el tratamiento deficitario (T1).

6. RESUMEN

En un monte experimental de manzano Red Delicious cv. "Red Chief " (*Malus domestica* Borkh) de seis años, propagadas sobre portainjerto franco, ubicado en la Estación Experimental de la Facultad de Agronomía, Canelones, Uruguay, se evaluó, el efecto del riego sobre el crecimiento vegetativo. Los tratamientos aplicados fueron: (T1) secano; (T2) riego a una dosis del 50% de la ETc; (T3) riego a una dosis del 100% de la ETc; (T4) riego a una dosis del 150% de la ETc y (T5) secano hasta mediados de diciembre y luego riego al 100% de la ETc. Los parámetros analizados fueron: volumen de copa, diámetro y longitud del brote, área de la sección transversal de tronco, número, largo y peso de poda invernal. El crecimiento vegetativo se vio favorecido con un nivel óptimo de agua disponible, logrado en el T2, que presentó un incremento: del 27% en área tronco, el 306% en el largo del brote y 63% para el diámetro del brote diferenciándose significativamente con el T4, que produjo el menor crecimiento vegetativo con valores del 19%, 155% y 41% respectivamente para dichos parámetros debido a la saturación de agua en el perfil. En el T1, si bien se observó el menor contenido de agua en el perfil no produjo el menor crecimiento vegetativo sin presentar diferencias significativas con el T2 y T3, debido a que nunca se llegó a un nivel crítico de humedad, por las precipitaciones ocurridas en el período, la ausencia de frutos en el monte, el portainjerto franco, la característica varietal y el suelo arcilloso con alta capacidad de retención de agua. Con respecto a la época de comienzo del riego, no se encontraron diferencias significativas en los parámetros de crecimiento vegetativo evaluados. Estos resultados también mostraron que tuvo mayor efecto negativo sobre el crecimiento vegetativo el exceso de agua que el déficit hídrico.

Palabras clave: crecimiento vegetativo, *Malus domestica,* Red Chief, riego por goteo.

7. SUMMARY

In an experimental orchard of 6 years old of Red Deliciuos apple trees cv. "Red Chief" (*Malus domestica Borkh*) grafted on King David rootstock, located at the Agronomy School Experimental Station in Progreso, Canelones, Uruguay, the effect of irrigation on vegetative growth was evaluated. The studied treatments were: (T1) no irrigation; (T2) irrigation covering 50% of the estimated ETc; (T3) irrigation covering 100% of the estimated ETc; (T4) irrigation covering 150% of the estimated ETc and (T5) no irrigation until middle of December and then irrigation covering 100% of the ETc. The analysed parameters were: canopy volume, shoots diameter and lenght, trunk cross section area, number, length and weight of the winter prune. Vegetative growth was higher with an optimum level of available water, that was achived with T2. This treatment had greater responses for all the evaluated parameters, with increments of: 27% in trunk cross section area, 306% in shoot length and 63% in shoot diameter. It differed significantly from T4, that produced the smallest vegetative growth, with increments of 19%, 155% and 41% respectively, due to water saturation of the soil. In T1, the observed soil water content did not decrease the vegetative growth. There were not detected significant differences with T2 and T3, due to T1 never reached a critical soil water level. It was due to the high amount of precipitations occurred in the period, the absence of fruits in the trees, the seedling rootstock, the varietal characteristic and the loamy soil with high water retention capacity. Concerning the time of beginning irrigation, T3 and T5, did not differ significantly in all the vegetative growth evaluated parameters. Our results also showed that it had greater negative effect on the vegetative growth the water excess than the water deficit.

Key words: drip irrigation, *Malus domestica,* Red Chief, vegetative growth.

8. BIBLIOGRAFIA

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. ASSAF, R.; BRAVDO, B.; LEVIN, I. 1974. Effects of irrigation according to water deficit in two different soil layers, on the yield and growth of apple trees. Journal of the Horticultural Science. 49:53-64.

3. _____.; LEVIN, I.; BRAVDO, B.A. 1975. Effect of irrigation regimes on trunk and fruit growth rates, quality and yield of apple trees. Journal of Horticultural Science 50: 481-493.

4. _____., _____.; _____. 1989. Optimization of water for fruit trees by a computerized irrigation system. Agronomie. 9: 451-456.

5. 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.

6. BEHBOUDIAN, M.H.; DIXON, J.; POTHAMSHETTY, K. 1998. Plant and fruit responses of lysimeter-grown 'Braeburn' apple to deficit irrigation. Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 73 (6): 781-785.

7. 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.

8. BHARDWAJ, S.K.; SHARMA, I.P.; BHANDARI, A.R.; SHARMA, J.C.; TRIPATHI, D. 1995. Soil water distribution and growth of apple plants under drip irrigation. Journal of the Indian Society of Soil Science. 43 (3): 323-327.

9. BUCKMAN, H.O.; BRADY, N.C. 1966. Naturaleza y propiedades de los suelos. Mexico, Uteha. 590 p.

10. CARBALLO, S. 1995. Fertirrigación. In: Curso Internacional de Suelo, Riego y Nutrición (1995, General Roca, Río Negro, Argentina). Trabajos presentados. General Roca, INTA. p. irr.

11. CORSI, W. 1994. Programación del riego con informes de evaporación. In: Manejo de la información agroclimática para apoyo a la toma de decisiones en riego. Colonia, INIA. pp. 1-4 (Actividades de Difusión no.26).

12. CRIPPS, J.E.L. 1971. The influence of soil moisture on apple root growth and root shoot/ratios. Journal of Horticultural Science. 46(2):121-136.

13. _____. 1981. Biennial patterns in apple tree growth and cropping as related to irrigations and thinning. Journal of Horticultural Science. 56(2): 161-168.

14. CHALMERS, D.J.; MITCHELL, P.D.; JERIE, P.H. 1985. The relation between irrigation, growth, and productivity of peach trees. Acta Horticulturae. 173: 283-288.

15. CHILDERS, N.F. 1982. Fruticultura moderna; cultivo de frutales y arbustos. Montevideo, Hemisferio Sur. 457 p.

16. DAVIES, F.S.; LAKSO, A.N. 1978. Water relations in apple seedlings; changes in water potential components, abscisic acid levels and stomatal conductances under irrigated and non-irrigated conditions. Journal of the American Society for Horticultural Science. 103(3): 310-313.

17. DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome, FAO. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper no. 36).

18. DURAN, A.; GARCIA, F.; LABELLA, S. 1992. Propiedades hídricas de los suelos. Montevideo, Facultad de Agronomía. 119 p.

19. EVETT, S.1998. Some keys to excellence in neutron probe calibration. (en línea). Bushland, Texas, USDA. ARS. Consultado 20 dic. 2003. Disponible en http:// www.net.usda.gob/cprl/programs.

20. EBEL, R.C.; PROEBSTING, E.L.; EVANS, R.G. 1995. Deficit irrigation to control vegetative growth in apple and monitoring fruit growth to schedule irrigation. Horticultural Science. 30 (6): 1229-1232.

21. FERERES, E.; PRUITT, W.O.; BEUTEL, J.A.; HENDERSON, D.W.; HOLZAPFEL, E.; SCHULBACH, H.; URIU, K. 1981. Evapotranspiration and drip irrigation scheduling. California, University of California. cap. 4, pp. 8-13. (Leaflet no. 21259).

22. _____.; GOLDHAMER, D.A. 1990. Irrigation of deciduous fruit and nut trees. In: Stewart, B.A.; Nielsen, D.R. eds. Irrigation of agricultural crops. Madison, WI, American Society of Agronomy. pp. 987-1017. (ASA Monograph no. 11)

23. FIGUEROA, G.J. 1990. Riego diferencial en manzano (Malus domestica B.). Tesis Ing. Agr. Chillan, Chile. Universidad de Concepción. Facultad de Agronomía. 122 p.

24. FORSHEY, C.G.; WEIRES, R.W.; STANLEY, B.H.; SEEM, R.C. 1983. Dry weight partitioning of McIntosh apple trees. Journal of the American Society for Horticultural Science. 108: 149-154.

25. _____.; MARMO, C.A. 1985. Pruning and deblossoming effects on shoot growth and leaf area of Mcintosh apple trees. Journal of the American Society for Horticultural Science. 110: 128-132.

26. _____.; WEIRES, R.W.; VANKIRK, J.R. 1987. Seasonal development of the leaf canopy of Macspur McIntosh apple trees. Horticultural Science. 20: 881-883.

27. _____.; ELFVING, D.C. 1989. The relationship between vegetative growth and fruiting in apple trees. Horticultural Reviews. 11: 229-287.

28. FUENTES YAGÜE, J.L. 1996. Técnicas de riego. Madrid, Mundi-Prensa. 281 p.

29. GARCÍA, F. 1984. El agua en el suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 106 p.

30. GARCÍA, P.M.; PUPPO, L.; ROMERO, G.; BACCINO, G. 2003. Respuesta al riego de durazmero, manzano y peral en montes comerciales. Agrociencia. 7 (2): 49-61.

31. GOLDHAMER, D.A. 1995. Relación suelo- agua –planta. In: Curso Internacional de Suelo, Riego y Nutrición. (1995, General Roca, Rio Negro, Argentina). Trabajo presentados. General Roca, INTA. p. irr.

32. GÓMEZ, J.P. 1996. Efecto de diferentes regimenes de riego sobre algunas relaciones agua-planta en manzano cultivar Royal Gala. Tesis Ing. Agr. Santiago, Chile. Universidad Mayor. Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias. 91 p.

33. GOODE, J.E.; HYRYCZ, K. J. 1964. The response of laxton's superb apple trees to different soil moisture condition. Journal of Horticultural Science. 39: 254-276.

34. _____.; INGRAM, J. 1971. The effect of irrigation on the growth, cropping and nutrition of Cox` Orange Pippin apple trees. Journal of Horticultural Science. 46: 195-208.

35. GUROVICH, L. 1985. Fundamentos y diseño de sistemas de riego. San José, Costa Rica, IICA. 433 p.

36. HENRÍQUEZ, A.R. 1994. Riego diferencial en manzano (Malus domestica D.) bajo microaspersion. Tesis Ing. Agr. Chillan, Chile. Universidad de Concepción. Facultad de Agronomía. 90 p.

37. HEWETT, E.W. 1976. Irrigation of apple trees in Nelson. Journal of Agricultural Research (New Zealand). 19: 505-511.

38. 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.

39. HOLZAPFEL, H.E.; FIGUEROA, G.G.; VENEGAS, V.A.; MATTA, C.R.1995. Requerimientos hídricos en manzanos adultos. Agro Ciencia. 11(1): 49-54.

40. HSIAO, T.C. 1973. Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Physiology. 24: 519-570.

41. IGLESIAS, I. 1991. Ficha varietal del manzano Red Chief. Fruticultura Profesional. no. 40: 83-84.

42. IRVING, D.; DROST, J. 1987. Effects of water deficit and vegetative growth, fruit and fruit quality in Cox's Orange Pippin apple. Journal of Horticultural Science. 62(4): 427-432.

43. JHONSON, R.S.; LAKSO, A.N. 1986a. Carbon balance model of a growing apple shoot; I. Development of the model. Journal of American Society for Horticultural Science. 111: 160-164.

44. _____.; _____. 1986b. Carbon balance model of a growing apple shoot; II. Simulated effects of light and temperature on long and short shoots. Journal of American Society for Horticultural Science. 111: 164-169.

45. KILILI, A.W.; BEHBOUDIAN, M.H.; MILLS, T.M. 1996. Water relations, photosynthesis, growth, and yield of 'Braeburn' apples under reduced irrigation applied at different stages of the growing season. Gartenbauwissenschaft. 61(6): 267-273.

46. LAKSO, A.N. 1984. Leaf area development patterns in young pruned and unpruned apple trees. Journal of American Society for Horticultural Science. 109: 861-865.

47. LANDSBERG, J.; JONES, H. 1981. Apple orchards. In: T.T. Kozlowski ed. Water deficit and plant growth. New York, Academic Press. v. 6, pp. 419-469.

48. MENDIA, J.M.; IRISARRI, J.A. 1995. Las condiciones físicas del suelo asociadas al drenaje en el manejo del monte frutal. In: Curso Internacional de Suelo, Riego y Nutrición (1995, General Roca, Río Negro, Argentina). Trabajos presentados. General Roca, INTA. p. irr.

49. MILLS, T.M.; BEHBOUDIAN, M.H; CLOTHIER, B.E. 1994. Plant water status and fruit quality in 'Braeburn' apple. HortScience. 29: 1274-1278.

50. _____., _____.; _____. 1996. Water relations, growth, and the composition of 'Braeburn' apple fruit under deficit irrigation. Journal of American Society for Horticultural Science. 121(2): 286-291.

51. MITCHELL, P.D.; GOODWIN, I. 1996. Micro-irrigation of vines and fruit trees. Melbourne, Australia, Agmedia. 174 p.

52. MPELASOKA, B.S.; BEHBOUDIAN, M.H.; MILLS, T.M. 2001. Water relations, photosynthesis, growth, yield and fruit size of Braeburn apple; responses to deficit irrigation and to crop load. Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 76 (2): 150-156.

53. OLIEN, W.C. 1986. Effect of seasonal soil waterlogging on vegetative growth and fruiting of apple trees. Journal American Society Horticultural Science. 112: 209-214.

54. _____. 1989. Seasonal soil waterlogging influences water relations and leaf nutrient content of bearing apples trees. Journal American Society Horticultural Science. 114 (4): 537-542.

55. PEARCE, S.C. 1953. Field experimentation with fruit trees and other perennial plants. East Malling, Kent, Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Props. 131 p. (Technical Communication no. 23).

56. POLA, A.C.; PETRI, J.L.; SUZULI, A.; MONDARDO, M. 1991. Riego en manzano. Futicultura Profesional. no. 48: 45-46.

57. PROEBSTING, E.L.; MIDDLETON, J.E.; ROBERTS, S.1977. Altered fruiting and growth characteristics of 'Delicious' apple associated with irrigation method. HortScience. 12 (4): 349-350.

58. RAHARDJO, P.1993. Estimation of water uptake by an apple tree by using three different methods. In: Scientific Meeting on Isotope Application and Radiation in Agriculture, Livestock, and Biology (1992, Jakarta). Proceedings. Jakarta, Indonesia, BATAN. pp. 189-204.

59. RAMOS, C.; CASTEL, J.R.; GÓMEZ DE BARREDA, D. 1985. La calibración de la sonda de neutrones en estudios de riego y evapotranspiración. Moncada, Valencia, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. s.p.

60. REQUENA, A. 1995. Aspectos a tener en cuenta en la programación del riego parcelario. In: Curso Internacional de Suelo, Riego y Nutrición (1995, General Roca, Río Negro, Argentina). Trabajos presentados. General Roca, INTA. p.irr.

61. ROWE, R.N.; BEARSELL, D.V. 1973. Waterlogging of fruit trees. Horticultural Abstract. 43: 533-548.

62. SAAVEDRA, R. H. P.1999. Determinación de periodos apropiados para la aplicación de riego deficitario controlado en manzanos cv. Braeburn. Tesis Ing. Agr. Talca, Chile. Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Agrarias. 58 p.

63. SMAJSTRLA, A.G.; HARRISON, D.S. s.f. Measurement of soil water for irrigation management. Gainesville, Florida, University of Florida. Institute of Food and Agricultural Sciences. 12 p. (Circular no. 532).

64. SMART, H.; BARRS, H. 1973. The effect of environment and irrigation interval on leaf water potential of four horticultural species. Agricultural Meteorology. 12 (3): 337-346.

65. SPANGENBERG, L.A.; GIOIA DE MARTÍN, O.; CALABRESE, H.L.1985. Efecto de diferentes manejos de suelo y la cobertura vegetal, en riego y secano sobre el régimen hídrico del suelo y la producción de manzanas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 114 p.

66. URIU, K.; MAGNESS, J.R. 1967. Deciduous tree fruit and nuts in irrigation of agricultural lands. Agronomy. 11: 686-703.

67. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERIA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES ECONOMICAS AGROPECUARIAS. 2006. Encuesta frutícola; zafra 2004-2005. (en línea). Montevideo. Consultado 29 jun. 2006. Disponible en http://www.mgap.gub.uy/diea/Encuestas/Se224/SE224EncuestaFrutícola200405.htm.

68. VAUCLIN, M.; HAVERKAMP, R.; VACHAUD, G.1982. Error análisis in estimating soil water content from neutron probe measurement; 2.spatial standpoint. Soil Science.137 (3): 141-148.

69. VAYSSE, P.; REYNIER, P. 1998. L'irrigation du pommier; aspersion, mini-diffuseur, goutte a goutte. Infos (Paris). 138: 30-33.

70. VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, H.H. 1950. Soil moisture in relation to plant growth. Annual Review of Plant Physiology. 1: 285-304.

71. WESTWOOD, M.N.; ROBERTS, A.N. 1970. The relationship between trunk cross-sectional area and weight of apple trees. Journal of American Society for Horticultural Science. 95(1): 28-30.

72. ZOPPOLO, R.J.; PIERONI, J.L. 1985. Efectos de diferentes sistemas de manejo del suelo sobre el régimen hídrico y la producción de un monte de manzanos bajo riego y en secano. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 133 p.

9. ANEXOS

9.1 ANEXO I

Tabla 14. Evolución del crecimiento en longitud del brote para los diferentes tratamientos (cm).

	05/12	13/12	19/12	26/12	02/1	08/1	15/1	22/1	29/1
T1	9,8	14,2	17,9 a	22,1 a	26,7 a	29,3 a	30,5 a	31,6 a	32,3 a
T2	8,9	13,4	17,1 ab	20,9 a	25,1 ab	27,7 ab	30,4 a	31,6 a	32,8 a
T3	7,5	11,6	14,6 ab	17,6 ab	20,6 bc	22,6 bc	23,8 ab	24,7 ab	25,3 ab
T4	7,9	12,1	13,6 b	15,2 b	16,7 c	17,7 c	18,1 b	18,3 b	18,5 b
T5	8,9	13,3	16,4 ab	19,8 ab	22,9 ab	24,4 ab	25,4 a	25,8 a	25,9 ab
P	Ns	Ns	0,055	0,004	0,0005	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
C.V.			21,51	20,06	20,80	21,17	22,81	23,16	23,99
T1 vs Resto			0,0545	0,0142	0,0039	0,0026	0,0082	0,0069	0,0087
T2 y T3 vs T4			ns	0,0127	0,0023	0,0011	0,0005	0,0003	0,0003
T3 vs T5			ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Continuación de la tabla anterior.

	05/2	12/2	21/2	27/2	06/3	13/3	20/3
T1	32,8 a	33,0 a	33,3 a	33,6 a	33,8 a	33,9 a	34,1 a
T2	33,4 a	33,7 a	34,2 a	34,5 a	34,8 a	35,2 a	35,7 a
T3	25,8 ab	26,0 ab	26,3 ab	26,4 ab	26,6 ab	26,8 ab	27,0 ab
T4	18,8 b	18,9 b	19,1 b	19,1 b	19,2 b	19,2 b	19,3 b
T5	26,0 ab	26,1 ab	26,2 ab	26,3 ab	26,4 ab	26,5 ab	26,6 ab
P	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0004	0,0004	0,0004
C.V.	24,51	24,85	25,10	25,61	26,22	26,55	26,99
T1 vs Resto	0,0100	0,0107	0,0117	0,0126	0,0137	0,0166	0,0203
T2 y T3 vs T4	0,0003	0,0003	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0004
T3 vs T5	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Cada valor es la media de 9 árboles. Las medias seguidas de la misma letra no difieren significativamente de acuerdo a la prueba de Tukey al 10 %.

p -significación estadística del análisis de varianza. C.V. -coeficiente de variación.

9.2 ANEXO II

Tabla 15. Incremento relativo del largo del brote para los diferentes tratamientos (%).

	5-13/12	13-19/12	19-26/12	26/12-2/1	2/1-8/1	8/1-15/1	15/1-22/1	22/1-29/1	29/1-5/2	5/2-12/2	12/2-21/2	21/2-27/2	27/2-6/3	6/3-13/3	13-20/3	IN TOT
T1	46,7	27,4 a	23,3 a	21,0 a	10,1	4,0 b	3,4 ab	1,8 ab	1,3	0,7	0,7	0,6	0,6	0,4	0,4	257,4 a
T2	51,9	28,7 a	22,3 a	19,9 a	10,1	9,4 a	3,9 a	3,4 a	1,7	1,1	1,4	0,7	0,7	1,2	1,2	305,5 a
T3	56,6	25,8 a	21,3 a	16,6 ab	9,2	5,3 b	3,7 ab	2,3 ab	1,9	0,7	0,9	0,6	0,5	0,7	0,7	269,6 a
T4	52,9	13,9 b	12,9 b	10,0 b	6,7	2,1 b	1,3 b	1,3 b	1,3	0,5	1,0	0,4	0,3	0,3	0,2	154,9 b
T5	54,9	24,2 a	21,6 a	16,1 ab	6,4	4,1 b	1,4 ab	0,6 b	0,4	0,3	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	219,6 ab
P	ns	0,002	0,003	0,006	ns	0,0002	0,019	0,016	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,0027
C.V.		31,53	28,29	37,54		61,28	76,10	92,27								32,05
T1 vs resto		Ns	0,0624	0,0276		Ns	ns	ns								ns
T2 y T3 vs T4		0,0001	0,0006	0,0026		0,0001	0,0062	0,0313								0,0042
T3 vs T5		Ns	ns	ns		Ns	0,0233	0,0492								ns
Lineal																0,0151
Cuadrática																0,0046

Cada valor es la media de 9 árboles. Las medias seguidas de la misma letra no difieren significativamente de acuerdo a la prueba de Tukey al 10 %.
p -significación estadística del análisis de varianza. **C.V.** -coeficiente de variación.

9.3 ANEXO III

Tabla 16. Evolución del crecimiento en diámetro del brote para los diferentes tratamientos (mm).

	05/12	13/12	19/12	26/12	02/1	08/1	15/1	22/1	29/1	05/2	12/2	21/2	27/2	06/3	13/3	20/3
T1	4,66	4,71	4,83	4,95	5,17	5,37	5,61	5,83	6,03 ab	6,22 ab	6,36 ab	6,51 ab	6,66 ab	6,80 ab	6,93 ab	7,06 ab
T2	4,67	4,72	4,80	4,88	5,24	5,49	5,77	5,97	6,24 a	6,48 a	6,71 a	6,94 a	7,08 a	7,22 a	7,41 a	7,60 a
T3	4,90	4,95	5,04	5,14	5,41	5,62	5,83	5,96	6,19 ab	6,41 ab	6,54 ab	6,68 ab	6,81 ab	6,93 ab	7,10 ab	7,27 ab
T4	4,71	4,75	4,83	4,91	5,10	5,29	5,41	5,56	5,69 b	5,84 b	5,95 b	6,04 b	6,18 b	6,33 b	6,48 b	6,64 b
T5	4,57	4,62	4,72	4,82	5,09	5,28	5,48	5,64	5,77 ab	5,96 ab	6,08 ab	6,21 b	6,33 b	6,45 b	6,60 b	6,75 b
p	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,0455	0,0475	0,0233	0,01280	0,0159	0,0217	0,0201	0,0208
C.V.									7,41	8,05	8,36	8,76	8,82	8,98	9,01	9,18
T1 vs resto									ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T2 y T3 vs T4									0,0071	0,0069	0,0033	0,0019	0,0027	0,0043	0,0042	0,0047
T3 vs T5									0,0536	0,0631	0,0704	0,0825	0,0868	0,0958	0,0943	0,0977

Cada valor es la media de 9 árboles. Las medias seguidas de la misma letra no difieren significativamente de acuerdo a la prueba de Tukey al 10 %.
p -significación estadística del análisis de varianza. **C.V.** -coeficiente de variación.

9.4 ANEXO IV

Tabla 17. Incremento relativo del diámetro del brote para los diferentes tratamientos(%).

	5-13 /12	13-19/12	19-26/12	26/12-2/1	2/1-8/1	8/1-15/1	15/1-22/1	22/1-29/1	29/1-5/2	5-12/2	12-21/2	21-27/2	27/2-6/3	6-13/3	13-20/3	IN TOT
T1	1,1	2,7	2,6	4,4 b	4,0	4,4 a	3,9 a	3,4 abc	3,0	2,3 ab	2,3 ab	2,2	2,2	1,9	1,9	51,7 ab
T2	1,0	1,7	1,7	7,4 a	4,9	5,1 a	3,5 ab	4,4 a	3,7	3,6 a	3,5 a	2,0	2,0	2,6	2,6	62,9 a
T3	1,1	1,9	1,9	5,4 ab	3,8	3,9 ab	2,3 b	3,8 ab	3,4	2,1 b	2,1 b	1,8	1,8	2,4	2,4	48,4 b
T4	1,1	1,7	1,7	4,1 b	3,4	2,3 b	3,1 ab	1,9 c	2,8	1,5 b	1,5 b	2,5	2,4	2,5	2,4	41,3 b
T5	0,9	2,2	2,2	5,6 ab	3,8	3,8 ab	2,9 ab	2,4 bc	3,1	2,1 b	2,1 b	1,9	1,9	2,4	2,3	47,9 b
p	ns	ns	ns	0,0491	ns	0,014	0,0822	0,0009	ns	0,0058	0,0058	ns	ns	ns	ns	0,0062
C.V.				44,40		41,70	38,92	39,83		47,56	45,47					23,01
T1 vs resto				ns		ns	0,0435	ns		ns	ns					ns
T2 y T3 vsT4				0,0263		0,0024	ns	0,0001		0,0054	0,0053					0,0042
T3 vsT5				ns		ns	ns	0,0273		ns	ns					ns
lineal																0,0447
cuadrática																0,0336

Cada valor es la media de 9 árboles. Las medias seguidas de la misma letra no difieren significativamente de acuerdo a la prueba de Tukey al 10 %.
p -significación estadística del análisis de varianza. **C.V.** -coeficiente de variación.