

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA

CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA RADICULAR DEL PORTAINJERTO
PONCIRUS TRIFOLIATA (L.) "POMEROY" EN UN ARGISOL DÍSTRICO
ÓCRICO ABRÚPTICO SOBRE FORMACIÓN SALTO, BAJO DOS REGÍMENES
DE RIEGO

por

Alejandro KLISICH FRANCO
Diego G. GARELLI VIVIANI

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2011

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Carlos Moltini

Ing. Agr. Beatriz Vignale

Ing. Agr. Carmen Goñi

Fecha: 16 de diciembre de 2011

Autor:

Diego Garelli

Alejandro Klisich

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradecer al personal de INIA Salto Grande que colaboró de manera notable para la realización de este trabajo. Ayudando en la extracción de muestras, lavado de raíces y todo lo que estuvo a su alcance.

A Carmen Goñi y Álvaro Otero por la paciencia que nos tuvieron y su apoyo como tutores en todo momento. Coordinando tanto actividades de campo, como compras de insumos, procesamiento de datos y análisis estadístico.

A Beatriz Vignale por la orientación de la estructura de la tesis y comentarios adicionales.

Dentro de facultad de Agronomía al servicio de biblioteca que siempre está dispuesto a ayudar en la búsqueda de información que sea pertinente. A la gente de Citricultura que nos dejó disponibles los Proceedings entre otras cosas.

Agradecer el apoyo recibido por nuestras familias desde todo punto de vista, durante la carrera y en este presente trabajo. Por la continua motivación y preocupación por nuestra formación no únicamente en aspectos académicos.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	3
2.1 TÉCNICAS DE MUESTREO PARA OBSERVACIÓN Y ESTUDIO DE SISTEMAS RADICULARES.....	3
2.2 ELEMENTOS QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO DE RAÍCES.	5
2.2.1 <u>Portainjerto</u>	6
2.2.1.1 <i>Poncirus trifoliata</i>	7
2.2.2 <u>Nutrición mineral</u>	7
2.2.3 <u>Riego</u>	8
2.2.3.1 Agua disponible y conceptos relacionados.....	8
2.2.3.2 Influencia del riego en raíces.....	8
2.2.3.3 Influencia del riego en el rendimiento.....	10
2.2.4 <u>Efecto del manejo en sistemas radiculares</u>	12
2.3 ESTUDIO DE SISTEMAS RADICULARES.....	13
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	15
3.1 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	15
3.2 RECURSOS UTILIZADOS.....	15
3.2.1 <u>Material vegetal</u>	15
3.3 PROCESO PARA EL MUESTREO DE LAS RAICES	16
3.4 DESCRIPCION DEL PROCESO DE LAVADO DE LAS RAICES.....	20
3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	22

3.6 ANALISIS ESTADISTICO	23
4. <u>RESULTADOS</u>	24
4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA VARIABLE.....	24
4.2 VIGOR DE LAS PLANTAS.....	24
4.3 EFECTO DEL UMBRAL DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO.....	25
4.4 EFECTO DE DIVERSOS FACTORES EN LA DENSIDAD DE RAÍCES.....	25
4.4.1 <u>Efecto del umbral de riego</u>	25
4.4.2 <u>Efecto de la distancia al tronco principal y su interacción con el umbral de riego</u>	26
4.4.3 <u>Efecto de la profundidad y su interacción con el umbral de riego</u>	27
4.4.4 <u>Efecto del radio y su interacción con el umbral de riego</u>	29
4.5 ANALISIS ESTADISTICO.....	30
4.5.1 <u>Análisis de efectos principales</u>	30
4.5.1.1 Profundidad.....	31
4.5.1.2 Distancia al tronco.....	31
4.5.2 <u>Análisis de interacciones simples</u>	33
4.5.2.1 Análisis de la interacción umbral por profundidad.....	33
4.5.2.2 Análisis de la interacción radio con umbral.....	35
5. <u>DISCUSIÓN</u>	37
6. <u>CONCLUSIONES</u>	39
7. <u>RESUMEN</u>	41
8. <u>SUMMARY</u>	42
9. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	43
10. <u>ANEXOS</u>	49

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.		Página
1	Análisis de efectos principales.....	30
2	Profundidad analizada como efecto principal.....	31
3	Distancia al tronco analizada como efecto principal.....	32
4	Estudio de Interacciones simples.....	33
5	Diferentes clases dentro de la interacción umbral-profundidad...	34
6	Ranking de radios para umbral 25 %.....	35
7	Ranking de radios para umbral 50 %.....	36
Figura No.		
1	Vista general del sitio experimental.....	16
2	Disposición de los radios en la planta	17
3	Distancias al tronco y profundidades evaluadas.....	18
4	Taladro neumático ingresando en el suelo.....	18
5	Columna de suelo extraída por el taladro neumático.....	19
6	Vista de las raíces en la columna de suelo.....	19
7	Observación del terreno una vez finalizado el muestreo de una planta.....	20

8 Vista del equipo Delta T tipo RWC, utilizado para lavar las raíces.....	21
9 Observación de la forma de separación de raíces.....	22
10 Efecto de dos umbrales de riego en el volumen de copa de Satsuma Owari.....	25
11 Efecto principal de dos umbrales de riego 25 y 50% del AD en la densidad de raíces.....	26
12 Efecto de la interacción umbral de riego y distancia al tronco...	27
13 Efecto de la profundidad de muestreo con el umbral de riego en la densidad de raíces.....	28
14 Efecto del radio en la densidad de raíces y los dos umbrales de riego.....	29

1. INTRODUCCIÓN

Desde épocas muy tempranas se conoce la importancia que tiene el desarrollo radicular en la supervivencia y producción de los vegetales. El desarrollo radicular en extensión y profundidad está condicionado entre muchos factores al tipo de suelo y a las prácticas de manejo.

En árboles frutales, la raíz, o portainjerto tiene importancia en la adaptación de las especies a los distintos ambientes edáficos, en la resistencia a plagas y enfermedades y en el control del vigor de la planta. Debido al dinamismo y a la capacidad de modificarse, el sistema radicular, a través de su crecimiento y desarrollo permite afrontar a la planta los diferentes estreses abióticos que puedan ocurrir. Su desarrollo, por lo tanto, está condicionado a las prácticas de manejo más corrientes, como la localización de nutrientes, el uso del riego, fertirriego, los marcos de plantación, etc.

Ha sido quizás el impactante desarrollo del riego y de la nutrición, y el impacto de los estreses abióticos (sequías, anegamiento, etc.) lo que ha llevado a replantearse la importancia primordial del desempeño de las raíces para un correcto funcionamiento de la planta. Como órgano, el sistema radicular, tiene los cometidos básicos: de anclaje, absorción de agua y nutrientes, producción de fitohormonas y almacenamiento de reservas. El sistema radicular es sitio de producción de distintas hormonas: ácido indol acético, ácido abscísico, citoquininas, etc. Es un órgano que permanentemente envía mensajes al resto de la planta sobre el ambiente edáfico donde crece y se desarrolla.

Los cítricos están compuestos por dos partes: la raíz o portainjerto y la copa o variedad. El portainjerto puede ser del mismo género, de géneros distintos al *Citrus* e incluso producto de hibridaciones. El trifolia (*Poncirus trifoliata*) es el portainjerto más usado en la citricultura nacional. En el año 1996 se señalaba que más del 88% de la citricultura uruguaya estaba sobre clones de Trifolia (URUGUAY. MGAP. CHNPC, 1997).

En la actualidad, a pesar de existir otros portainjertos con buena adaptación a nuestras condiciones agroecológicas, las excelentes cualidades que el Trifolia le imprime a la fruta cítrica, lo señalan como el preferido a nivel productivo; manteniendo así su importancia a nivel nacional. Su predominio no deja de constituir un riesgo para la citricultura uruguaya.

Por otro lado, la superficie de cítricos bajo riego se ha incrementado año a año, alcanzando actualmente algo más de 8.500 hectáreas, 50% del área total (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2010). En la actualidad difícilmente un productor pretenda instalar un monte de mandarinas, naranjas o limones y no tener en cuenta el riego como parte de la inversión.

La optimización de la eficiencia de los sistemas de riego desde el punto de vista agronómico (maximización de la producción y su calidad) y desde el uso de los recursos naturales (hídricos), pasa por un correcto diseño, planificación y uso. En este sentido, las características espaciales del crecimiento de los distintos portainjertos, así como las características morfológicas son de relevancia en la definición de la profundidad a la cual regar o aplicar los nutrientes.

Lo que se busca en este trabajo es cuantificar como influye el régimen de riego en la distribución de raíces. Teniendo en cuenta que se trabaja con variedad "Satsuma owari" sobre portainjerto "pomeroy", donde lo único que difiere es el manejo del riego.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 TÉCNICAS DE MUESTREO PARA OBSERVACIÓN Y ESTUDIO DE SISTEMAS RADICULARES

Los primeros trabajos con sistemas radiculares se pierden en la antigüedad, fue Hales, citado por Böhm (1979) quien primero escarbó, sacando el sistema radicular de cultivos, determinando su morfología, evaluando peso y longitud de raíces.

Hoy los trabajos con sistemas radiculares se realizan en distintos ambientes experimentales. Algunos estudios son conducidos en invernáculos, otros en cámaras de crecimiento y algunos utilizan sofisticados laboratorios para la observación de raíces.

Existen diversas maneras de indagar estos sistemas. Distintas tecnologías que se fueron generando con el correr de los años. Algunas de ellas son métodos directos (excavación y el uso de minirhizotrones por ejemplo), otros indirectos (como el método gravimétrico). La mayoría de los métodos empleados son destructivos.

El uso de minirhizotrones ha posibilitado la observación *in situ* y en forma no destructiva del crecimiento de raíces (Waddington, 1971). Esta técnica consiste en un tubo transparente de plexiglás o vidrio donde se introducen una cámara o escáner que permite seguir la evolución de las raíces dentro del propio suelo. Estos dispositivos son instalados antes de que un cultivo comience crecer para evitar lesionar las raíces.

Benitez Vega (2006) en un trabajo con especies anuales menciona que el momento más apropiado para la instalación de los minirhizotrones es cuando el cultivo presenta dos cotiledones. Asimismo, esta tecnología presenta como factores limitantes su alto costo y la necesidad de instalarse tempranamente en el cultivo lo cual requiere planificación y coordinación de actividades.

Una de las primeras metodologías usadas y aún en vigencia es la excavación y su observación *in situ*. Hales, ya había realizado trabajos de este tipo usando el método de la excavación que fueron publicados en 1727. La principal desventaja de esta metodología es que requiere mucho tiempo y trabajo físico, por lo que cada vez se utiliza en menor medida (Böhm, 1979).

La técnica conocida como monolito es otra forma de muestrear raíces, usada con mayor frecuencia por investigadores de cultivos agrícolas. Los monolitos son bloques de suelo (suelo y raíces) que pueden extraerse de manera manual utilizando palas. Cuando se trabaja con muestras muy grandes, éstas se movilizan con la ayuda de máquinas especializadas. Los bloques pueden tener diferentes formas, prismas, cilindros, etc. Esta técnica es complementada con el uso de fotografías y requiere de un posterior lavado de las raíces (Böhm, 1979).

El sistema radicular puede ser cuantificado también realizando muestreos con la ayuda de taladros. Estos pueden ser manuales o mecánicos y permiten extraer cilindros de suelo. Al igual que con los monolitos se requiere de un posterior lavado de las raíces, aunque en este caso el volumen de las muestras suele ser más pequeño. Esta técnica es adecuada para trabajar con muestreos volumétricos de suelo y raíces (Böhm, 1979).

Los muestreos con taladros permiten extraer mayor información ya que con la subdivisión de la columna de suelo se facilita un análisis a distintas profundidades o de horizontes. La metodología fue propuesta por Hellriegel, citado por Böhm (1979). A su vez Vetter, citado por Böhm (1979) calculó mediante esta técnica, la superficie que ocupan las raíces, su volumen, el número y sus correspondientes diámetros. La principal desventaja de esta técnica es el relativo pequeño diámetro con el que se trabaja, resultando en pequeños valores de densidad de raíces (Böhm, 1979).

Existen además, otras formas de evaluar el crecimiento de raíces, por ejemplo el análisis de perfiles. Con esta metodología se hacen zanjas para evaluar el crecimiento y distribución en profundidad de las raíces. En este caso se pueden usar cuadrículas o realizar observaciones tomando como referencia el eje de la planta. Esta técnica es destructiva. La variable más comúnmente registrada es el número de raíces (Böhm, 1979).

En otros casos para la observación de raíces se han utilizado barreras transparentes o vidrios, dentro de esta categoría se incluyen desde los llamados laboratorios de raíces hasta la observación en tubos de ensayo (Böhm, 1979).

De manera indirecta pueden ser contempladas las raíces mediante varias técnicas, un ejemplo de esto es el método gravimétrico. Este método utiliza una sustancia (nitrato de calcio por ejemplo) que por diferencia de peso de la

solución antes y después de sumergir las raíces permite estimar (utilizando coeficientes) el área que representan las raíces. Como ventajas, logra medir de manera precisa el área ocupada por raíces, además es una metodología barata y rápida. Sin embargo utiliza químicos corrosivos perjudiciales contaminantes que son problemáticos a la hora de eliminarlos (Böhm, 1979).

2.2 ELEMENTOS QUE INFLUYEN EN EL DESARROLLO DE RAÍCES

Hasta 1955, en zonas con climas húmedos la aplicación de riego no era considerada necesaria del punto de vista económico para la obtención de la cosecha. A partir de un trabajo realizado en Florida (EUA) en 1960 se puso de manifiesto que incluso en climas húmedos esta tecnología beneficia el crecimiento de las plantas e incrementa el rendimiento. Eso se debe a la incertidumbre en ocurrencia y variabilidad de las precipitaciones, la existencia de suelos con poca capacidad de retención de agua y a las mejoras sucesivas en las tecnologías de riego. Para una óptima producción citrícola el riego es necesario en climas áridos y húmedos (Parsons, 2000).

Las raíces de los frutales se extienden de forma radial y con extensión variable, dependiendo del sistema de plantación, del portainjerto y del sistema de riego empleado (Atkinson y Wilson, 1980a).

Según Salgado y Cautín (2008) la cantidad y localización de las raíces varía según la estación en que éstas sean muestreadas, el tipo de suelo y el método o tecnología de riego que se utilice.

Para Castle (1978, 1980) la información sobre la distribución de densidad de raíces de citrus es muy escasa. El rango de raíces puede fluctuar dependiendo del portainjerto, distancia entre árboles y profundidad del suelo. entre 300 y 1200 g m⁻³ de suelo.

Los citrus presentan raíz principal al igual que otras dicotiledóneas. La radícula una vez emergida crece rápidamente haciendo que se forme la raíz principal. Pero la estructura del sistema radical en árboles maduros depende del tipo de suelo, portainjerto, método de riego y fertilización aplicada (Spiegel-roy y Goldschmidt, 1996).

En un experimento con limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) injertado sobre naranjo agrio en dos tipos de suelo, encontraron diferencias en la distribución de raíces ocasionadas por la textura del suelo. En los suelos arenosos en la

medida que se incrementa la distancia de la zona de goteo respecto al tronco se logró detectar que disminuye la cantidad de raíces. Mientras que en suelo arcilloso no se encontró un patrón de distribución bien definido (Contreras-Morales et al., 2008).

La compactación y el anegamiento reducen la disponibilidad de oxígeno inhibiendo la respiración radical, en consecuencia disminuye su crecimiento y la absorción de agua y nutrientes, afectando también la producción de algunas hormonas. Asimismo, condiciones de anaerobiosis favorecen el desarrollo de hongos, que causan la muerte de raíces y suprimen el desarrollo de micorrizas, disminuyendo también la absorción de agua y nutrientes (Kolowsky et al., 1991).

Aunque los árboles tienen la capacidad de adaptar su sistema radicular, normalmente restringen su crecimiento ante la presencia de raíces de árboles vecinos. En manzanos la mezcla de raíces es infrecuente (Atkinson, 1976); aún en plantaciones de alta densidad llegando a densidades de más de 2000 árboles por hectárea (Schultz, 1972).

2.2.1 Portainjerto

El rango máximo de densidad de raíces fibrosas es de 0,53 g cm⁻³ de suelo para el citrumelo Swingle y 2,02 g cm⁻³ para el *P. trifoliata* (Eissenstat, 1991).

Trabajando con citrumelo Swingle y con el citrange Carrizo encontraron un denso desarrollo radical en los primeros 30 cm de profundidad (Morgan et al., 2007).

Alexander (1996) evaluó cinco variedades y dentro de ellas una satsuma cultivar “Miho wase” sobre cuatro portainjertos. “Miho wase” tuvo mejor rendimiento, buen tamaño de fruta y mayor vigor sobre el portainjerto X639 (Cleopatra mandarin x *P. trifoliata*)

Según Castle (1978) los típicos sistemas radiculares de citrus presentan dos fases. La primera más superficial, que se encarga básicamente de la rápida absorción de agua y nutrientes aplicados en la primera capa de suelo; la segunda fase se ocupa de la reserva para prevenir casos extremos de deficiencia de agua y además proporciona nutrientes que no fueron proporcionados por la primera fase.

2.2.1.1 *Poncirus trifoliata*

El portainjerto trifolia es resistente a gomosis y tristeza, presenta buena afinidad con la mayoría de las variedades comerciales, imprime buena calidad de fruta, mayor tolerancia al frío y adaptación a distintos tipos de suelos. Como limitantes presenta susceptibilidad a algunas enfermedades (exocortis, *blight*) y al calcáreo. Actualmente cerca del 90% de los montes de cítricos están sobre pie trifolia lo que sin duda es una situación que debe ser tomada en cuenta (Carrau et al., 2001).

En el seno de la especie *Poncirus trifoliata* por selección clonal se han producido numerosas variaciones genéticas. Existen clones de flores grandes, intermedias y pequeñas. Los clones más conocidos son los siguientes: Benecke, Christian, English, Flying Dragon, Jacompson, Krides, Pomeroy, Rubidou, Rusk y Yamaguski. Entre los clones de flores grandes el *Poncirus* "Pomeroy" es considerado el mejor, en tanto que el *Poncirus* "Rubidou" es el más interesante dentro de los de flores pequeñas (Praloran, 1977).

2.2.2 Nutrición mineral

La aparición de riego por goteo y técnicas de fertilización resultaron en cambios en la estructura de los sistemas radiculares. Los cítricos rápidamente se adaptaron a las nuevas condiciones formando un denso núcleo de raíces por debajo del gotero (Bravdo et al., 1992).

Según Covacevich et al. (1998) el agregado de fósforo como superfosfato triple de calcio en plantas de trigo hace que se acumule mayor cantidad de materia seca en las raíces. En este experimento contaron con plantas sin el agregado de este fertilizante para evidenciar este efecto. Además mencionan que las raíces aparecen en mayor medida en los primeros 10 cm. de suelo.

La cantidad de raíces en plantas de vid es mayor donde se encuentre la capa más fértil de suelo (Williams y Smith, 1991).

2.2.3 Riego

2.2.3.1 Agua disponible y conceptos relacionados

El agua disponible del suelo esta definida como el agua retenida entre capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). Es la máxima cantidad de agua que la planta puede disponer para su absorción en un determinado perfil. No toda el agua disponible es fácilmente accesible para la planta (García Petillo et al., 2010).

Según García Petillo et al. (2010) la capacidad de campo es la cantidad de agua máxima que el suelo puede retener, medida a las 48 horas después de una lluvia o riego (el contenido de agua continúa descendiendo a medida que pasa el tiempo pero más lentamente).

El punto de marchitez permanente es el contenido de agua retenida a una presión de 15 Bar. La cantidad de agua a esta presión de retención depende del tipo de suelo. Este es el límite hasta el cual una planta de girasol puede extraer agua (García Petillo et al., 2010).

Se denomina ecuaciones de pedo transferencia, aquellas que utilizando las fracciones de la textura del suelo expresadas en porcentajes permiten estimar los parámetros hídricos del suelo (CC y PMP) como ser el caso Bodman y Mahmud (García Petillo et al., 2010).

2.2.3.2 Influencia del riego en raíces

Abrisqueta et al. (2008) en un experimento de riego deficitario trabajando con plantas de duraznero, obtuvieron los máximos valores de densidad de raíces en el tratamiento de riego continuo, reponiendo el 100% de la evapotranspiración del cultivo. Cuando fueron disminuidos los aportes de agua hasta llegar al 50 % de la ET_c, el crecimiento de raíces era afectado negativamente en promedio entre 73 a 42 %.

Haas (1940) trabajando con aguacate y citrus comprobó que en condiciones de suelo saturado puede fallar la renovación de oxígeno del suelo, lo que puede ocasionar lesiones a nivel de las raíces. A nivel de campo este daño suele ir acompañado con caída de frutos y hojas en las plantas, es la forma que tienen éstas para equilibrarse. En otro experimento macetero también, se evaluó el sistema radical de las plantas en condiciones de aireación

y de reducido contenido de oxígeno. El crecimiento del sistema radicular fue más superficial en los contenedores con déficit de oxígeno, contrastando con un desarrollo homogéneo en todo el contenedor en condiciones aireadas.

Salgado y Cautín (2008) midieron el número de raíces cm^{-2} en plantas de aguacate en dos tipos de suelo y con dos sistemas de riego. Llegaron a que en los suelos de textura gruesa se registraron los mayores contenidos de raíces a los 20 cm con respecto al tronco y en profundidades de hasta 25 cm. Mientras que en suelos de texturas finas la distribución de raíces era más homogénea y más profunda, llegando hasta los 75 cm de profundidad.

En el mismo experimento encontraron que cuando es comparado el riego por goteo con doble hilera de cinta, colocadas una a cada lado de la planta (con un total de 12 goteros por planta), no se detectan diferencias en el número de raíces con referencia a la distancia al tronco; el número de raíces tampoco variaba con la estación de crecimiento, pero si lo hacían en profundidad; esto fue particularmente importante durante el otoño, estación en la que se observa que el sistema radicular es ponderado por la planta (Salgado y Cautín, 2008).

Para naranja Spring Navel con diez años de evaluación, se obtuvieron gastos de agua promedio entre 300- 700 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ para la etapa I del crecimiento del fruto y entre 1300-1500 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ para la etapa II, con máximos de 1200 y 2200 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ respectivamente (Goñi y Otero, 2011).

García Petillo (2002) cuantificó la evapotranspiración real de árboles de naranjo 'Valencia' sin riego y regados por goteo, para el área sur del Uruguay, mediante la metodología de balance hídrico. Concluye que la ETc es un 24% mayor en los árboles regados que en los de secano y que la evapotranspiración media en el mes de máxima demanda es de 3,3 mm día^{-1} ó 80 $\text{L árbol}^{-1} \text{ día}^{-1}$ para los años estudiados. Además afirma que la tasa de ETc tiene un descenso en enero, aún en los árboles bien regados. El coeficiente de cultivo (Kc) promedio anual para los árboles regados es de 0,69, encontrando un claro y sistemático comportamiento estacional de los Kc , con valores mínimos en verano (0,60), intermedios en otoño y primavera (0,77 y 0,80 respectivamente) y máximos en el invierno (de 0,87).

En un experimento donde fue medido el contenido de agua y la densidad de raíces en la naranja "Hamlin" sobre portainjerto "Limón Milam", se encontró que existe mayor densidad de raíces y uso del agua en la zona de las líneas de

riego. Además, se reportó que el uso de agua es coincidente con la mayor densidad de raíces en los primeros 60 cm de profundidad, decreciendo ambas variables con el incremento de la profundidad (Whitney et al., 1991).

En un ensayo en manzana sobre portainjerto M 26 que involucraba diferentes regímenes de riego, encontraron que incluyendo el efecto de todos los tratamientos donde se aplicó riego, el número total de raíces era superior a los tratamientos sin riego. En el caso particular de riego intensivo y con un único emisor ubicado de un solo lado del tronco de la planta, evidenciaron que existe una distribución asimétrica de raíces; registrándose más cantidad de raíces en el lado opuesto al emisor de manera significativa, considerando raíces de diámetros de 1-3 mm. Explican que se debe a que en el lado opuesto al emisor las raíces exploran en mayor profundidad el suelo. Sin embargo en otro tratamiento de riego que tenía menor dosis de agua no se detectó tal diferencia (Sokalska et al., 2009).

Goñi y Otero (2011) en un trabajo con diez años de evaluación en satsuma Owari sobre *T. Pomeroy* donde se prueban dos niveles de agotamiento a) 25% y b) 50% del AD (agua disponible) hasta una profundidad de 40 cm, determinaron que un nivel de agotamiento del 50% del AD resulta para la mayoría de los años significativamente superior en productividad que mantener las plantas con un nivel de agotamiento del 25% del AD. La modificación de los umbrales de aplicación del agua de riego en satsuma Owari generó una mayor probabilidad de hacer un uso más eficiente de las precipitaciones. Plantean dos hipótesis para explicar este resultado; que exista para el caso de Satsuma un desarrollo radicular diferente entre los dos niveles de agotamiento del agua o que la variedad sea muy sensible a una disminución del oxígeno del suelo.

2.2.3.3 Influencia del riego en el rendimiento

Borba et al. (1993) realizaron un estudio sobre efectos de tres diferentes regímenes de riego por goteo sobre mandarinas de la variedad Satsuma. Cuenta con tres tratamientos de diferentes volúmenes de agua, siendo T1 de cuatro lts. (h.pl)⁻¹, T2 de ocho lts. (h.pl)⁻¹ y T3 de 12 lts (h.pl)⁻¹. No se obtuvieron resultados significativos entre tratamientos para casi la totalidad de las variables evaluadas, incluyendo rendimiento. Esto puede deberse al exceso de precipitaciones ocurrido cuando se realizó el ensayo.

En la variedad "Okitsu" en Korea cuando se evaluó respuesta al estrés hídrico no se encontraron diferencias importantes en el peso promedio de fruta por árbol entre tratamientos con y sin estrés hídrico, pero sí en la distribución en tamaño. Sin estrés hídrico la tendencia era a la producción de frutos con tamaños mayores a 75,9 mm. (Moon et al., 2004).

En mandarina Satsuma un estrés hídrico severo en otoño se traduce en una caída importante de hojas, produciendo una reducción de un tercio de la floración en comparación con plantas sometidas a un estrés moderado. En las condiciones de este trabajo las que se encontraban bajo estrés moderado produjeron brotes florales en la mayoría de sus nudos con brotes sin hojas (Koshita y Takahara, 2004).

Otros ensayos de larga duración han enfatizado la problemática de la naranja Navel y la mandarina Satsuma en el área norte. En ensayos de larga duración (1995-2010) con naranja Spring navel sobre *T. Rubidoux* y satsuma Owari sobre *T. Pomeroy* donde se probaron riegos en distintas etapas fenológicas del crecimiento del fruto; a) secano, la pluviometría del año, b) riego desde inicio de la brotación hasta fin de la Etapa I de crecimiento del fruto, c) riego desde inicio de la brotación hasta fin de la Etapa II de crecimiento del fruto, d) riego desde inicio de la brotación hasta fin de la Etapa III de crecimiento del fruto y e) riego durante todo el ciclo. Se concluyó que los riegos en la Etapa I y Etapa II del crecimiento del fruto son necesarios siempre para la mandarina Satsuma Owari y la naranja Spring Navel en la zona norte de Uruguay. Los riegos hasta el fin de la Etapa III del crecimiento del fruto y durante todo el ciclo no generan mayor producción (Goñi y Otero, 2011).

Existe una alta probabilidad de demandas hídricas insatisfechas en la zona norte de Uruguay en los meses de octubre a marzo, déficit hídricos cuyas consecuencias productivas van más allá de la estación en donde se originan. Los déficit hídricos durante esos meses son de intensidad variable entre años y periodos fenológicos y coincidentes con etapas sensibles del cultivo como floración, cuajado y crecimiento del fruto. En satsuma Owari se reduce desde un 20 hasta un 40% el rendimiento en condiciones de secano comparando los mismos años con el riego como 100% del rendimiento (Otero et al., 2009).

2.2.4 Efecto del manejo en sistemas radiculares

El manejo de suelo tiene también un efecto sobre el desarrollo de las raíces. La agricultura sin laboreo, el manejo de residuos, coberturas vegetales, el control de malezas con herbicidas han sido avances al laboreo tradicional de suelos (Phillips y Young, 1979) y así como la disminución laboreo mecánico a la poda sistemática de raíces que se realizaba para el control de malezas en frutales. El uso de herbicida en las filas incrementa el número de raíces menores de 1mm de diámetro, pero tiene poco efecto en la distribución de las raíces en profundidad (Atkinson y White 1980b).

La maquinaria utilizada para la aplicación de fitosanitarios y la requerida en la tarea de cosecha circula en las entrefilas de los montes por el mismo sitio provocando compactación en el suelo. Los frutales son sensibles a la compactación y no crecen en aéreas compactadas. Según Kolesnikov, citado por Faust (1989) las raíces de los frutales pueden extenderse libremente con densidades de suelo hasta 30 kg cm^{-2} .

Según Goñi y Otero (2010) en cítricos donde se prueba el uso de mulches orgánicos, concluyen que el mulch de chip de eucaliptos compostados disminuye la temperatura del promedio del suelo hasta 3°C en los primeros 10 cm. de suelo; pero la reducción de la amplitud térmica del suelo es aún mayor en condiciones invernales y estivales. Cuando es comparado el uso de mulch con el uso de herbicida en las filas se observa un mejor desarrollo del sistema radicular de las plantas bajo mulch.

La poda de raíces ha sido utilizada desde al menos 100 años como una de las técnicas para reducir el tamaño de los árboles (Maggs, 1964). La restricción radicular puede darse como consecuencia del uso de contenedores, o camellones sobre suelos arcillosos o en plantaciones de alta densidad. En altas densidades se reduce el peso, largo, volumen y la superficie de raíces comparando con plantas en marcos de plantación más amplios (Atkinson, 1976). El mismo autor concluye que en plantas de manzanos en altas densidades se requiere el doble del largo de raíces para suplir una demanda dada de evaporación.

2.3 ESTUDIO DE SISTEMAS RADICULARES

Según Newman (1969) si la densidad de raíces es muy chica se espera una alta tasa de absorción de agua de la zona inmediata a la raíz para satisfacer las demandas de transpiración del árbol. Cuando esta relación es menor de 10 cm.cm^{-2} la resistencia del suelo a nivel de la superficie de la raíz es mayor a 0.2 MPa. El limitado contacto de las raíces con el suelo existente en los frutales como consecuencia de esta baja relación es lo que condiciona los altos requerimientos de agua y nutrientes necesarios para no caer en una situación de estrés. Esta situación no cambia aun si se considera la presencia de los pelos radiculares. Para Kolesnikov, citado por Faust (1989) contrastando una planta de un año de manzana con una de arroz, la planta de manzano puede tener 17 millones de pelos radiculares con un largo total de 3 km, mientras que una de arroz tiene 15 millones de pelos radiculares con un largo total de 600 km.

Goñi (1997) estudió el desarrollo del sistema radicular de plantas adultas de cítricos sobre *Poncirus trifoliata* bajo riego en un Brunosol subeutrico. Contabilizó el número de raíces mediante un cuadrante de 100 x 100 cm. con una cuadrícula de subdivisiones de 10 x 10 cm. que colocó en seis calicatas ubicadas entre árboles adyacentes Tomando como centro el tronco se trabajó en sentido paralelo y perpendicular a la fila de plantación. Además de contar raíces, estas fueron clasificadas según tamaño, en cinco rangos (<0.5 muy finas, 0.5-2 finas, 2-5 pequeñas, 5-10 medianas y grandes > 10 mm). Se evaluó desde el tronco hasta los 70 cm de profundidad en el sentido de la filas y en forma perpendicular a la fila hasta una profundidad 90 cm en las entrefilas. Se tomaron tres distancias desde el tronco: bajo copa (0-120 cm), zona de goteo del árbol (120-240 cm) y entrefila (240 a 320 cm). Se concluyó que las raíces muy fina y finas son el principal componente de los primeros 30 cm de suelo, encontrándose el 90% del sistema radicular en los primeros 40 cm, siendo bajo copa la concentración de raíces significativamente mayor a la de las restantes distancias analizadas.

El mismo autor con un taladro neumático de suelo analizó las raíces de un volumen de suelo conocido cada 10 cm de profundidad en plantas en condiciones de riego y seco. El muestreo de densidad de raíces se realizó para diferentes direcciones en cinco posiciones radiales de la planta a distancias equidistantes del tronco (40, 80, 120, 160 cm) en sondeos de suelo,

hasta una profundidad de 60 cm. Se determinó que la distribución espacial del sistema radicular del *P. trifoliata* es agregada, concentrándose el mayor número de raíces finas y muy finas en los primeros cm de suelo, coincidiendo con trabajos previos (Goñi, 2010).

Mattos et al. (2003) en naranja "Hamlin" encontraron que en la medida que se incrementa la profundidad y la distancia desde el tronco, disminuye la densidad de raíces, concentrándose las raíces menores a dos milímetros en los primeros 15 centímetros de profundidad. Asimismo reportan que más del 70 % del sistema radical se concentra en los primeros 45 cm. Estos autores trabajaron en un suelo con predominio de arena.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

Este experimento fue realizado en las instalaciones de INIA Salto Grande, en uno de los cuadros experimentales ubicado en el litoral noroeste de Uruguay. Latitud $-31^{\circ}16'20,2''$ y longitud $-57^{\circ}53'25,7''$.

3.2 RECURSOS UTILIZADOS

Se trabajó sobre un suelo que ocupa una posición topográfica de lomada alta ligeramente convexa, con 1 a 2 % de pendiente clasificado como un Argisol Dístico Ócrico Abrúptico (anexo 1).

El suelo tiene las siguientes características hídricas en los primeros 40 cm. de profundidad: densidad aparente (D_a) de 1.61 g cm^{-3} , capacidad de campo (CC) a -0.01 MPa de $0.29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ y punto de marchitez permanente (PMP) a -1.5 MPa de $0.15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, ambos medidos en suelo imperturbado.

3.2.1 Material vegetal

Las plantas fueron seleccionadas dentro de un cuadro experimental de mandarina Satsuma Owari (*Citrus unshiu* Marcow) injertadas en *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. "Pomeroy". Fue instalado en diciembre de 1995 con un marco de plantación de 7 x 3.5 m y se mantienen bajo dos regímenes hídricos desde su plantación.

Las plantas seleccionadas corresponden a un cuadro experimental de mandarina Satsuma Owari (*Citrus unshiu* Marcow) injertadas en (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.) Pomeroy, que fue instalado en diciembre de 1995 con un marco de plantación de 7 x 3.5 m y que se mantienen bajo el mismo régimen hídrico desde su plantación.



Figura 1 Vista general del sitio experimental

Los regímenes de riego estaban definidos por dos umbrales de riego: a) un agotamiento del 25% del AD (agua disponible) en el suelo, hasta los 40 cm de profundidad y b) un agotamiento 50% del AD del suelo hasta la misma profundidad. Cada vez que el AD del suelo desciende hasta el umbral preestablecido se repone el agua hasta alcanzar el 100% del AD, con los turnos de riego necesarios hasta llegar a CC. El monitoreo del contenido de agua en el suelo se realiza mediante mediciones periódicas con una sonda de neutrones (C.P.N. 505) en tubos de acceso de aluminio enterrados hasta 1.50 m de profundidad ubicados en las distintas parcelas. El sistema de riego empleado consiste en micro-aspersores; un único emisor por planta de un caudal de 35 L h⁻¹. El diámetro de mojado es de 1,50 metros.

De cada uno de los umbrales antes mencionados se seleccionaron tres plantas modales y se registró la distancia exacta de la ubicación del emisor al tronco. El manejo del monte es el estándar para la zona citrícola. El suelo se trata con herbicida en la fila de plantación y se mantienen empastadas las entrefilas. Los tratamientos fitosanitarios son los convencionales de la zona.

3.3 PROCESO PARA EL MUESTREO DE LAS RAICES

Para evaluar cantidad de raíces de las plantas y su distribución espacial se utilizó el método del taladro (Böhm, 1979), modificado según la técnica

propuesta por Hellriegel en 1883, que implica fraccionar cada cilindro de suelo de 0.50 m de longitud en submuestras. En este caso se fracciono la muestra cada 10 cm.

Se empleó un taladro neumático montado sobre un tráiler y propulsado con un tractor Valmet de 45 Hp. El muestreador consta de un motor que funciona a dos tiempos, que impulsa a través de un sistema hidráulico un cilindro de 50 cm de largo por 7,5 cm de diámetro interno. Este cilindro es el que se introduce en el suelo y el que efectivamente toma la muestra. Ocasionalmente en presencia de raíces muy gruesas fue requerido utilizar un contrapeso para ayudar al ingreso del cilindro al suelo.

Tomando el tronco del árbol como eje se marcaron los radios mediante un cordel que se ajustaba al tronco y que se fijaba al suelo mediante un gancho metálico ubicado en el otro extremo. Se marcaron ocho radios por planta, con un ángulo interno de 45° entre ellos. Cada radio fue identificado con una letra. Fueron identificados como A, B, C, D, E, F, G y H. El cordel se marcó con distancias prefijadas cada 40 cm.

Dado que las plantas están distanciadas entre si 350 cm. se tomaron cinco medidas en los radios A y E que correspondían al eje de la fila de plantación. En los restantes seis radios (B, C, D, F, G y H) que son coincidentes con el sentido de la entrefila se tomaron siete muestras a los efectos de verificar la extensión del sistema radicular. Los puntos de muestreo se distanciaron a partir de los 40 cm del tronco hasta los 280 cm. Las distancias muestreadas fueron 40, 80, 120, 160, 200, 240, y 280 cm (figuras 2 y 3).

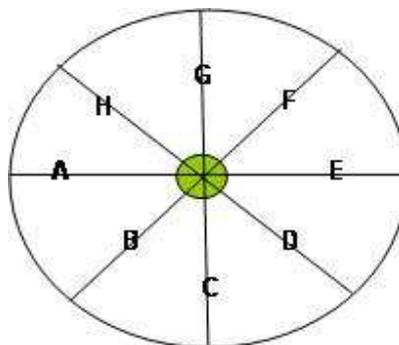


Figura 2 Disposición de los radios en la planta

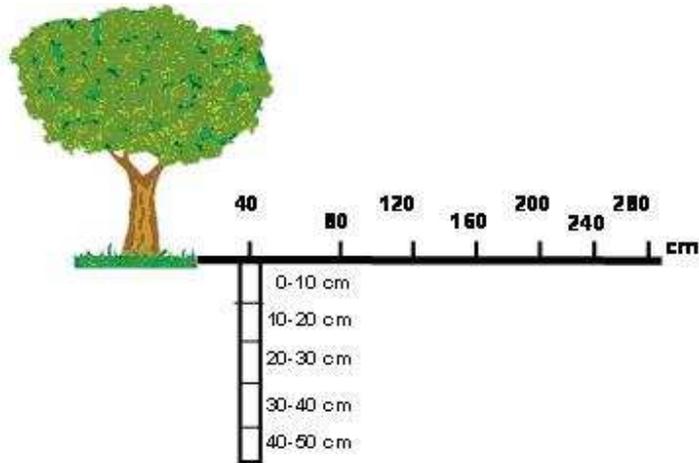


Figura 3 Distancias al tronco y profundidades evaluadas

Una vez introducido la totalidad del cilindro en el suelo, este se extraía mediante el mismo sistema hidráulico. El cilindro se desenganchaba del equipo y se obtenía el suelo más las raíces practicando una ligera presión en el extremo. El suelo se deslizaba sobre una superficie plana, donde la muestra era subdividida cada 10 cm. Cada muestra de suelo era identificada con el número de planta que permite identificar el umbral, el radio correspondiente, la distancia al tronco y la profundidad del muestreo. Además fueron embolsadas las muestras en bolsas de nylon para evitar su desecamiento.



Figura 4 Taladro neumático ingresando en el suelo



Figura 5 Columna de suelo extraída por el taladro neumático



Figura 6 Vista de las raíces en la columna de suelo

El proceso de extracción de las muestras de campo se realizó en un lapso de veinte días. De cada planta seleccionada se extrajeron 260 muestras de suelo aproximadamente.



Figura 7 Observación del terreno una vez finalizado el muestreo de una planta

Las muestras ordenadas fueron llevadas a una cámara de frío para su conservación, cuya temperatura oscilaba entre -2 y -3°C, pues en la mayoría de los casos no eran procesadas en el día.

3.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LAVADO DE LAS RAÍCES

Una vez finalizado el muestreo de suelo se procedió a la separación de las raíces. Para ello se utilizó un equipo lavador de raíces (Delta T. tipo RWC, Inglaterra). El equipo consta de un cilindro de aproximadamente 150 cm de diámetro por 50 cm de alto que se llena con agua, al centro del mismo se ubica una bomba eléctrica (220/240V y 13 A, 50-60 Hz) que impulsa el agua a cuatro unidades lavadoras independientes montadas sobre una mesa circular.

Cada unidad lavadora es un cilindro de 50 cm. de diámetro (externamente similar a un balde) que posee dos entradas de agua en su parte inferior y por efecto del agua y la fuerza centrífuga desagregan el suelo de las raíces. Este cilindro consta de una camisa cilíndrica interna hueca ubicada en el centro, que va desde el fondo hasta pocos centímetros antes de llegar al borde del cilindro externo.

Las raíces al tener menor densidad que el suelo, flotan y arriban hasta la camisa interna hueca de la unidad, cayendo por ésta con el agua hacia unos embudos con filtros de malla de 20 micras ubicados por debajo de la unidad.

La bomba ubicada en el cilindro inferior con agua contiene un filtro y un flotador asegurando la circulación de agua sin sólidos en suspensión nuevamente a las unidades de lavado. El agua del sistema es de este modo reciclada por la bomba a las unidades de lavado.



Figura 8 Vista del equipo Delta T tipo RWC, utilizado para lavar las raíces



Figura 9 Observación de la forma de separación de raíces

Dependiendo de la textura de la muestra el lavado de raíces puede llevar entre 5 a 15 minutos por muestra. Las muestras del horizonte A se desagregan con mayor rapidez.

Las raíces extraídas de cada muestra de suelo son identificadas nuevamente y colocadas en sobres de papel manilla y exteriormente envueltas con nylon. Las muestras fueron conservadas en un freezer (IKEDA RIKKA, Japon) a -50°C , hasta su posterior secado con un liofilizador (TAITEC VD-400F., Japón).

Una vez secadas las muestras fueron pesadas en una balanza analítica (SARTORIUS MC1 AC210S, USA), separándose la masa de las raíces finas de aquellas raíces mayores a 4 mm.

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento cuenta con dos tratamientos dados por los diferentes regimenes de riego: a) agotamiento del 25% del AD y b) agotamiento del 50% del AD. Se utilizaron tres plantas por tratamiento. La selección de plantas fue al azar.

Se realizó un muestreo compuesto ya que se evaluó además del umbral, la influencia de otros factores (posición espacial de la muestra) como son el radio, la profundidad y la distancia al tronco principal de la planta.

3.6 ANALISIS ESTADISTICO

La variable respuesta fue analizada mediante el procedimiento tipo 3 GENMOD (SAS, 2008). Los datos fueron transformados a logaritmo.

Se hicieron comparaciones de los efectos principales: umbral, radio, profundidad y distancia al tronco de la planta. Además se realizaron las comparaciones de interacciones simples que comprendieran al umbral de riego. En todas las comparaciones se utilizó una significancia de 0,05 y para la representación gráfica de los resultados se utilizó el error estándar como indicador de la dispersión de los datos

4. RESULTADOS

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA VARIABLE

La variable analizada fue densidad de raíces (mg. de raíces totales en peso seco por cm^{-3} de suelo), la cual no presenta una distribución normal. Se hicieron una serie de transformaciones para normalizar los datos, como ser raíz cuadrada y arco seno entre otras. A pesar de lo anterior no se logró normalizar los datos. El test de Shapiro Wilks y la prueba Q.Q.plot obtuvieron resultados negativos.

La variable fue ingresada al procedimiento GENMOD del SAS, con función de enlace gama, por lo que es posible afirmar que la distribución no es simétrica. La transformación usada fue logaritmo. Sin embargo para la elaboración de los gráficos fueron utilizados los datos de densidad de raíces de manera directa (sin transformar).

Como consecuencia del desbalance de los datos y asociado a su distribución, la variable en cuestión fue analizada con el procedimiento tipo tres de GENMOD (SAS, 2008).

El desbalance de los datos esta dado básicamente por el diseño del muestreo. Los radios A y E ubicados en el sentido de la fila fueron muestreados hasta los 200 cm del tronco. En los restantes radios (B, C, D, F, G y H) el muestreo fue hasta los 280 cm del tronco. Ocasionalmente contribuyó a este desbalance el hecho de que por impedimentos físicos (como la presencia de raíces excesivamente gruesas o elevada diferenciación textural) no pudiera ser tomada la muestra.

4.2 VIGOR DE LAS PLANTAS

Antecedentes del ensayo indican un efecto significativo del umbral o nivel de agotamiento del agua en el vigor y productividad de las plantas de satsuma Owari. Las plantas sometidas a un manejo con 50 % del AD son significativamente más grandes que las del umbral de 25 % (figura 10).

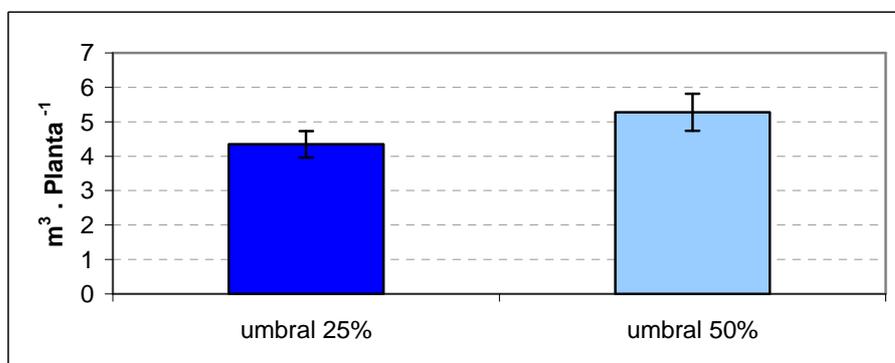


Figura 10 Efecto de dos umbrales de riego en el volumen de copa de Satsuma Owari

Las barras representan el error estándar de la variable.

4.3 EFECTO DEL UMBRAL DE RIEGO EN EL RENDIMIENTO

El efecto de los umbrales de riego en los rendimientos promedio de las plantas no fue significativo para el ciclo productivo correspondiente con la cosecha (2009-2010). Quizás como consecuencia del régimen hídrico del ciclo productivo con 1157 mm de precipitaciones desde el inicio de brotación hasta marzo.

En un total de 10 años evaluados solo en tres (incluido el ciclo productivo en estudio) el efecto del umbral de riego no fue significativo. La producción media por planta para el umbral del 25 % del ciclo productivo en estudio fue de 139 kg planta⁻¹, mientras que para umbral 50 % se registró un promedio de 145 kg planta⁻¹ para la zafra 2009-2010 (INIA Salto Grande). Esta productividad por planta es muy buena, obteniéndose porcentajes de exportación superiores al 75%, (tamaños de fruta entre 55 y 73 mm) resultado de la buena distribución y tamaño de los frutos.

4.4 EFECTO DE DIVERSOS FACTORES EN LA DENSIDAD DE RAÍCES

4.4.1 Efecto del umbral de riego

Se observó que las plantas de mayor volumen de copa presentaron menor densidad promedio de raíces. Asimismo la densidad de raíces cuando se consideran solo los umbrales de riego no presentan diferencias significativas, aspecto en el que se profundizará más adelante (figura 11).

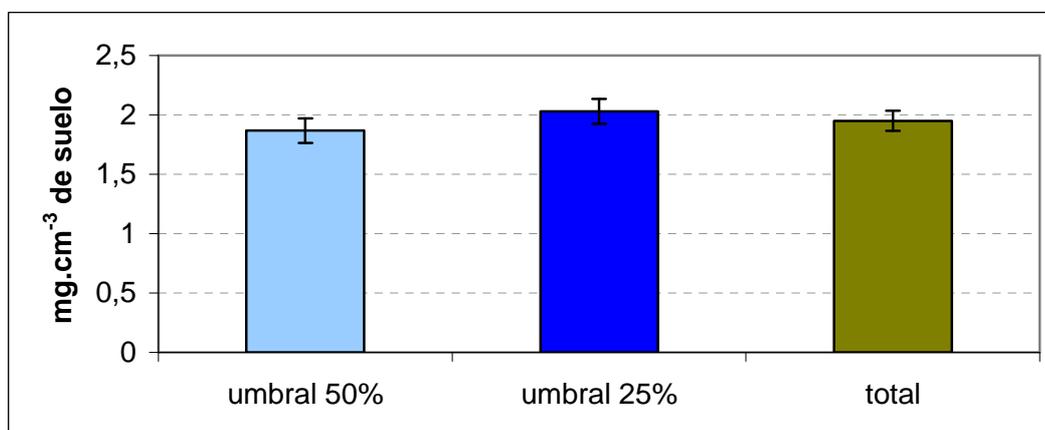


Figura 11 Efecto principal de dos umbrales de riego 25 y 50% del AD en la densidad de raíces

Las barras representan el error estándar de la variable.

A partir de la figura anterior se obtienen valores promedio de densidad de raíces de los distintos umbrales. El principal aporte de esta figura es tener valores de referencia para cada umbral.

4.4.2 Efecto de la distancia al tronco principal y su interacción con el umbral de riego

A medida que nos alejamos del tronco del árbol la densidad de raíces disminuye, esa diferencia es más pronunciada a partir de los 80 cm del tronco. A una distancia de 40 cm del tronco se duplica la densidad de raíces encontrada con el umbral del 25% cuando es analizado como único factor.

No fue idéntica entre las plantas seleccionadas la distancia donde se encontraban posicionados los emisores del tronco, en promedio éstos se encontraban dentro del rango de 30 a 50 cm del tronco. Las plantas del umbral de 25%, los tenían en promedio entre los 34 ± 14 cm. Mientras que los emisores de las plantas sometidas a umbral 50% estaban entre los 40 ± 6 cm. del tronco. En todos los casos los emisores (micro-aspersores) estaban ubicados en el radio E (Norte) para el umbral del 25% y en A (Sur) para el umbral del 50%.

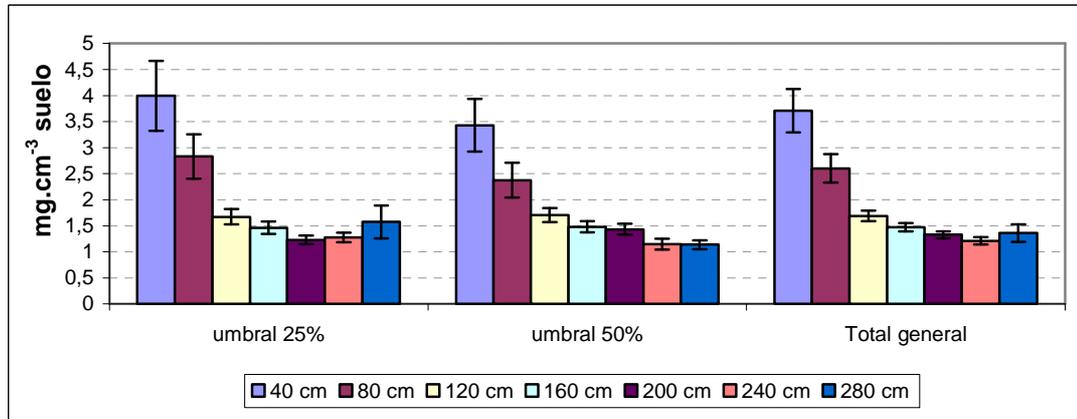


Figura 12 Efecto de la interacción umbral de riego y distancia al tronco
 Las barras representan el error estándar de la variable.

En distancia al tronco para el umbral de riego 50 % se encontró similar tendencia a la del umbral 25%, sin embargo en umbral 50% la densidad de raíces presenta rango de datos más estrecho. Las distancias de 40 y 80 cm del tronco tienen densidad de raíces claramente superiores.

4.4.3 Efecto de la profundidad y su interacción con el umbral de riego

Cuando se analiza la profundidad se observa un comportamiento similar a lo que ocurre con la distancia al tronco. A medida que profundizamos en el perfil de suelo, la densidad radicular disminuye. Densidades de raíces claramente mayores se dan en los 10-20 cm. comparadas con las encontradas a los 40-50 cm. de profundidad.

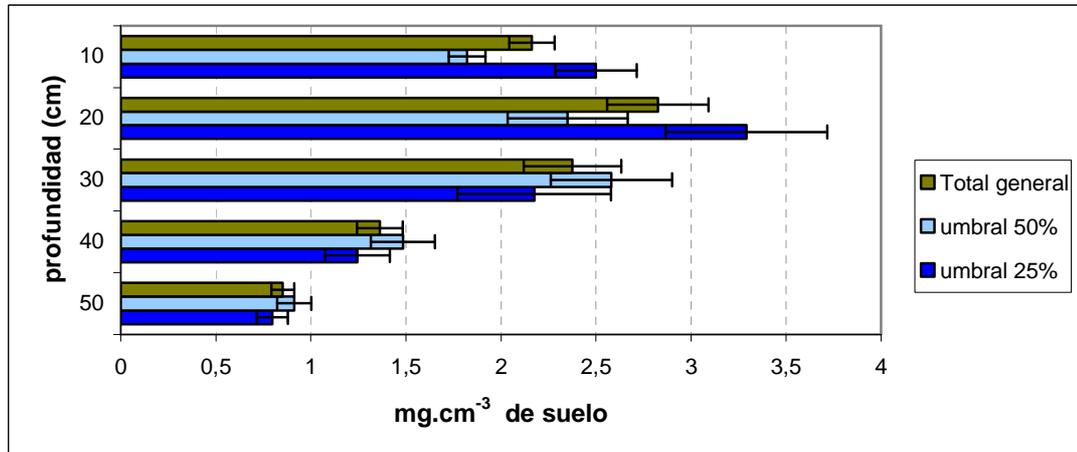


Figura 13 Efecto de la profundidad de muestreo con el umbral de riego en la densidad de raíces

Las barras representan el error estándar de la variable.

En el rango de 10 a 20 cm. de profundidad es donde se da la mayor densidad de raíces.

Con el umbral 50% esa disminución de densidad con la profundidad no es tan marcada pero se puede apreciar cierta tendencia.

Al igual que con el efecto de distancia al tronco, con la profundidad se aprecia una mayor homogeneidad para el tratamiento de lámina de 50%.

El desarrollo más homogéneo que se observa para las plantas sometidas a umbral 50 %, puede estar asociado a que es la menor frecuencia de riego del presente experimento. Esto hace que las plantas exploren más área en busca de agua y nutrientes.

4.4.4 Efecto del radio y su interacción con el umbral de riego

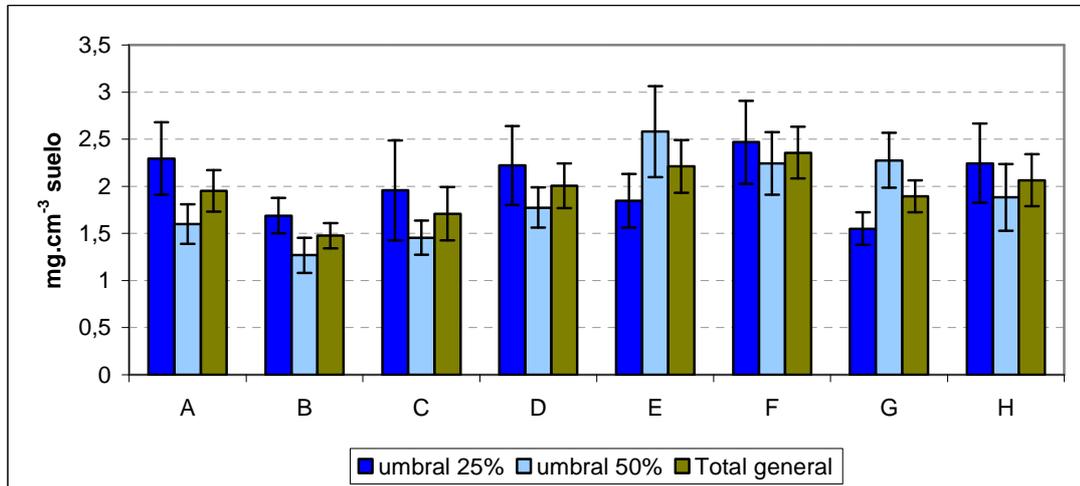


Figura 14 Efecto del radio en la densidad de raíces y los dos umbrales de riego

Las barras representan el error estándar de la variable.

En las plantas de umbral 50 % los emisores estuvieron ubicados únicamente en los radios A, mientras que para las plantas del umbral de 25 % se localizaron en el radio E. La figura 14 permite observar que en los radios donde se localizaban los emisores era menor la densidad de raíces para los dos umbrales. La presencia de emisor puede deprimir el desarrollo de raíces debido a que es dosificada el agua en ese lugar, por lo cual la planta no necesita explorar. Además se debe destacar que los emisores son micro-aspersores con un caudal de 35 L. hora⁻¹. Es decir que el AD se repone de manera rápida.

4.5 ANALISIS ESTADISTICO

4.5.1 Análisis de efectos principales

Cuadro 1 Análisis de efectos principales

Análisis de tipo 3				
Efecto	Chi-	G.L	Promedio	Pr>ChiSp
Umbral		1	0.12	0.7245
Radio		7	36.56	<0.0001
Distancia		6	254.44	<0.0001
Profundidad		4	248.06	<0.0001

Analizado en forma separada los efectos principales, se aprecia en el cuadro anterior que se encontraron diferencias significativas para radio, distancia al tronco y profundidad.

En el efecto principal umbral no se detectaron diferencias significativas cuando se trabaja de forma separada, es decir cuantificado como efecto principal. Debido a lo anterior, cambiar la frecuencia de riego eligiendo una u otra no modifica la densidad total de raíces existentes entre las plantas de distintos umbrales, al menos con respaldo estadístico. Se debe tener en cuenta que se comparan raíces totales, por lo que son tenidas en cuenta tanto las raíces finas como las gruesas.

Por la estructura del muestreo se pueden hacer inferencias de otro tipo. Observando como se comporta la variable respuesta (densidad de raíces), evaluando el umbral asociado a los demás factores y a su vez estos de forma aislada.

4.5.1.1 Profundidad

Cuadro 2 Profundidad analizada como efecto principal

Observación	Profundidad	Efecto de profundidad		Letra asignada
		Estimación	Error estándar	
3	10	0,8423	0,0507	A
4	20	0,8236	0,0505	AB
5	30	0,692	0,0504	B
6	40	0,1884	0,0507	C
7	50	-0,1987	0,0535	D

Letras diferentes indican diferencias significativas con una significancia de 0,05.

Mirando la asignación de letras que realiza el programa manteniendo fija la significancia (en 0,05) se pueden realizar algunas afirmaciones. En primera instancia se confirma que de 0-30 centímetros fue donde se encontraron más raíces. Mayor profundidad produce menores valores de densidad de raíces como tendencia general.

Para realizar la afirmación anterior sólo se debe mirar la asignación de letras ya que debido a la transformación de los datos (mencionada con anterioridad) tanto las estimaciones como los errores estándar, son de los datos transformados lo que dificulta su interpretación.

Analizando los datos agrupados sólo por profundidad se puede decir que de 0-10 centímetros es superior a las de 20-50 cm. Sin embargo no difiere en densidad de raíces cuando es comparada respecto a 10-20 cm. En la figura 13 sin embargo se observa que la profundidad 10-20 cm. otorgaba mayores valores en densidad de raíces. Esta diferencia en la ubicación se debe a que el programa utiliza medias ponderadas, mientras que en la figura 13 aparece la media calculada de manera analítica.

4.5.1.2 Distancia al tronco

Al haber siete niveles y las comparaciones realizarse de a dos se tienen un total de 21 comparaciones, por lo que se decidió al igual que para profundidad realizar una comparación múltiple. Esta permite observar el "ranking" o cuales son las distancias que tienen mayor densidad de raíces.

Cuadro 3 Distancia al tronco analizada como efecto principal

Observación	Distancia	Distancia al tronco		Letra asignada
		Estimación	Error estándar	
8	40	1,1972	0,0599	A
9	80	0,8666	0,0575	B
10	120	0,4578	0,0572	C
11	160	0,3012	0,0565	CD
12	200	0,1947	0,058	DE
13	280	0,1908	0,0683	DE
14	240	0,0781	0,0684	E

Letras diferentes indican diferencias significativas con una significancia de 0,05.

Presentando similitud con profundidad (cuando es analizada como efecto principal) en forma genérica se puede decir que para distancia respecto al eje de la planta, en la medida que uno se aleja del tronco principal, la densidad de raíces disminuye. Esta tendencia se observaba en la figura 12. Pero igualmente es necesario validar las diferencias para realizar afirmaciones pertinentes y reales. Es importante recalcar que los emisores están colocados en distancias cercanas del rango 30-50 cm (ver anexo 4).

La distancia al tronco de 40 cm es superior a todas con un 95 % de confianza. Luego la distancia de 80 cm es la que le sigue en densidad de raíces, superando a todas las restantes y siendo superada únicamente por la distancia de 40 cm, con la misma confianza. Las distancias 120 y 160 cm demostraron ser similares. Asimismo 160 cm. únicamente supera a la distancia 240 cm.

4.5.2 Análisis de interacciones simples

Cuadro 4 Estudio de Interacciones simples

Fuente	Análisis de tipo 3		
	GL	Promedio	Pr>ChiSp
Umbral*Radio	7	26.58	0.0004
Umbral*Distancia	6	5.11	0.5300
Umbral*Profundidad	4	26.70	<0.0001
Radio*Distancia	38	76.49	0.0002
Radio*Profundidad	28	47.31	0.0127
Distancia*Profundidad	24	146.54	<.0001

Datos marcados en azul indican diferencias significativas, asociadas a un nivel de error cuya probabilidad de ocurrencia es de 0.05.

En el caso de umbral de riego analizado de forma conjunta con distancia al tronco (umbral*distancia en el cuadro anterior) no se detectaron diferencias significativas. Observando la interacción de umbral con la profundidad (umbral*profundidad) si se detectaron diferencias con respaldo estadístico y una probabilidad asociada a equivocarse de 0,05. Esta diferencia detectada es de interés y se profundizará su análisis en esta misma sección.

Se dejarán de lado en la interpretación las interacciones simples que no contengan umbral, considerando que estas escapan de los objetivos principales de este trabajo.

4.5.2.1 Análisis de la interacción umbral por profundidad

Lo que se hizo en genmod es agrupar de manera diferencial los datos y realizar comparaciones múltiples. Son comparadas todas las profundidades contra todas, es decir compara la profundidad de 0-10 centímetros con umbral 25% de agotamiento de lámina contra las restantes cuatro profundidades de este mismo umbral. Además compara dicha profundidad y umbral contra todas las profundidades de umbral 50% de agotamiento de lámina, incluida en este último caso la profundidad de 0-10 cm.

Se hicieron un total de 44 comparaciones que debido a su complejidad, es que se presenta a continuación otra salida del SAS que evalúa comparaciones múltiples.

Cuadro 5 Diferentes clases dentro de la interacción umbral-profundidad

Observación	Umbral	Profundidad	Estimación	Error estándar	Letra asignada
1	25	20	11.914	0.0748	A
2	50	30	0.9482	0.0757	B
3	25	10	0.9162	0.0748	B
4	50	20	0.8611	0.0757	B
5	25	30	0.7771	0.0753	BC
6	50	10	0.5999	0.0753	CD
7	50	40	0.3953	0.0765	DE
8	25	40	0.2195	0.0757	E
9	50	50	-0.0753	0.0835	F
10	25	50	-0.2266	0.0786	F

Letras diferentes indican diferencias significativas con una significancia de 0,05.

En el cuadro anterior se ve claramente que el tratamiento interacción simple de umbral 25 % de agotamiento de agua junto con la profundidad 10-20 centímetros es superior a las restantes interacciones simples. Es decir que no existe umbral (25% o 50%) que combinado con alguna profundidad (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 y 40-50 cm.) presente valores similares. Es por esto que es la única combinación de umbral y profundidad que tiene una única letra, que no es compartida con ninguna otra.

Para 50% de umbral en profundidades de 20-30 y 10-20 cm., al igual que para 25% de umbral y profundidades de 0-10 y 20-30 cm; se trata de interacciones que se agrupan de la misma manera por no haber encontrado evidencia que permita diferenciar estas cuatro interacciones simples al menos desde el punto de vista estadístico. A su vez tampoco se puede decir que difieran umbral 50% y profundidad 0-10 cm. respecto a umbral 25 % y profundidad 20-30. A su vez el umbral 50% y profundidad 0-10 cm no difiere de 50 % y 30-40 cm de profundidad.

4.5.2.2 Análisis de la interacción radio con umbral

Para analizar el efecto del radio fueron separados los dos umbrales para de esta manera contemplar el efecto de la posición del emisor. Asimismo esto permite observar como repercute el umbral en el radio.

Cuadro 6 Ranking de radios para umbral 25 %

Umbral	Radio	Estimación	Error estándar	Letra asignada
25	F	0.6920	0.0884	A
25	A	0.6285	0.1077	AB
25	H	0.5357	0.0883	ABC
25	D	0.5261	0.0869	ABC
25	B	0.4114	0.0879	BC
25	E	0.3816	0.1054	BC
25	G	0.3804	0.0872	BC
25	C	0.2922	0.0876	C

Letras diferentes indican diferencias significativas con una significancia de 0,05.

Si bien el emisor se encuentra ubicado en un solo lado de las plantas (para plantas de umbral 25% en el radio E), debido a su diámetro de mojado (1,50 metros) y a la posición en que está colocado (en el entorno de los 30-50 cm) alcanza a mojar en cierta medida el otro lado de la planta. Para umbral 25 % (umbral más frecuente) se observa que las raíces se desarrollaron de buena manera en muchos radios, esto es respaldado en cierta medida por la cantidad de letras compartidas. Se puede decir que el emisor con este umbral otorga en las plantas una distribución de raíces radial.

Cuadro 7 Ranking de radios para umbral 50 %

Umbral	Radio	Estimación	Error estándar	Letra asignada
50	E	0.6882	0.1016	A
50	F	0.6718	0.0857	A
50	G	0.6410	0.0867	A
50	H	0.4920	0.0837	AB
50	D	0.3331	0.0860	BC
50	A	0.2650	0.1034	BC
50	C	0.2355	0.0833	C
50	B	0.1717	0.0826	C

Letras diferentes indican diferencias significativas con una significancia de 0,05.

Para umbral 50 % se observa que en el radio que está el emisor para este umbral (radio A) hay menos raíces que en el radio opuesto (radio E). Asimismo el radio A es superado por el F y el G, sin superar en lo que respecta a densidad de raíces a ningún radio al menos con respaldo estadístico.

Acá se evidencia para este umbral el efecto que tuvo la presencia del emisor en uno de los radios deprimiendo el desarrollo radicular en el radio donde se encontraba el emisor y generando un sistema radicular asimétrico con un mayor desarrollo en el lado opuesto al emisor.

La otra interacción simple que sería interesante estudiar más a fondo sería umbral-distancia al tronco pero no presentó diferencias significativas. Esto de alguna manera confirma la importancia que tiene la distancia al tronco, ya que no es modificada su tendencia (al menos de manera apreciable) cuando es analizada de manera conjunta con umbral.

5. DISCUSIÓN

En lo que concierne a profundidad los resultados obtenidos coinciden con varios autores. Lo encontrado por Morgan et al. (2007) a pesar de utilizar otros portainjertos (“Swingle” y “Carrizo”, ambos obtenidos de cruzamientos con trifolia) encontraron que se daba un denso desarrollo radicular en los primeros 30 centímetros de suelo al igual que el presente trabajo. En el mismo sentido Goñi (1997) señala que las raíces finas y muy finas son el principal componente de los primeros 30 cm, encontrándose el 90% del sistema radicular en los primeros 40 cm. La mayor densidad de raíces muestreada en superficie hace pensar que se trata de la fase superficial de los sistemas radicales de los cítricos mencionada por Castle (1978).

En lo que respecta a la distancia al tronco en el presente trabajo se observa que hay mayor densidad de raíces en distancias cercanas a las plantas. Particularmente grandes para las distancias 40 y 80 cm, mientras que en la medida que las muestras se alejan del eje de la planta reducen su cantidad de raíces. Algo similar obtuvo Goñi (1997) trabajando en rangos de distancias del tronco de 0 a 120, 120 a 240 cm y 240 a 360 cm. afirmando que la mayor cantidad de raíces se da en la zona bajo la copa del árbol, es decir en distancias del tronco menores a 120 cm.

Mattos et al. (2003) encontró similares resultados trabajando en naranja “Hamlin”. Afirma que en la medida que se incrementa la profundidad y distancia al tronco se deprime la densidad de raíces menores a dos milímetros. Además menciona que más del 70 % del sistema radicular se concentra en los primeros 45 cm.

En lo que involucra a la influencia del emisor en el desarrollo de raíces hay resultados diferentes. En el presente trabajo se encontró que para umbral 50 % de agotamiento de agua disponible, la presencia del micro-aspersor influye de manera negativa en la densidad de raíces, para umbral 25 % algo similar se observa pero no detectando diferencias significativas. Para umbral 50 % el radio opuesto al emisor obtuvo de manera significativa más cantidad de raíces cuando es comparado respecto al radio del emisor. Lo encontrado coincide en cierta medida con lo propuesto en un trabajo con plantas de manzana por Sokalska et al. (2009). Ellos mencionan que en riego intensivo con un único emisor ubicado en un lado de las plantas, produce en el lado opuesto mayor cantidad de raíces de diámetros entre 1-3 mm de manera significativa.

Por otro lado Bravdo et al. (1992) encontraron que las raíces de los cítricos forman un denso núcleo debajo del gotero. La diferencia en este caso es explicada por el uso de emisores con caudales contrastantes.

Según Atkinson y Wilson (1980a) las raíces de los frutales se extienden en forma radial cuya extensión varía entre otras cosas dependiendo del sistema de riego utilizado. En este aspecto se logró evidenciar que en las plantas de umbral 50 % la distribución es asimétrica. Esta diferencia puede ser explicada por la existencia de un único emisor por planta.

La distribución del sistema radicular de las plantas en cuestión no presenta una distribución normal. En este aspecto se coincide con lo mencionado por Goñi (2010) donde afirma que *P. trifoliata* presenta distribución agregada.

6. CONCLUSIONES

Las plantas sometidas a umbral 50 % presentan mayor vigor que las de umbral 25%. A su vez las plantas de umbral 25 % obtuvieron más densidad de raíces que las de 50 % pero en este último caso la diferencia encontrada no fue significativa. La ausencia de diferencias entre umbrales del punto de vista estadístico puede deberse a que no se trata de condiciones hídricas tan contrastantes. En el mismo sentido la ocurrencia de 1157 mm. de precipitaciones en el período analizado 2009-2010 pueden haber enmascarado las diferencias.

Para todos los demás factores, radio, distancia al tronco y profundidad si fueron detectadas diferencias significativas. Los efectos más notables cuando se analizan los efectos principales los otorgan la distancia al tronco y la profundidad.

En lo que respecta a distancia al tronco se observa que la densidad de raíces fue superior en las distancias 40 y 80 cm., con un 95 % de confianza. A su vez la distancia 40 cm. supera a 80 cm. con la misma probabilidad asociada. Es importante aclarar que los micro-aspersores estuvieron en un rango de distancias respecto al tronco de 0,3-0,5 m. y su diámetro de mojado es de 1,50 m. Para umbral 25 % y distancia al tronco de 40 cm se duplican los valores de densidad de raíces encontrados para este mismo umbral cuando es analizado como efecto principal.

Para profundidad se ve que claramente las raíces se concentran en mayor medida en los primeros 30 cm de suelo con una significancia de 0,05. En este sentido a nivel productivo es un dato relevante en caso de localizar nutrientes previo a plantaciones con condiciones similares de manejo y tecnología.

En umbral 50 % tanto en distancia al tronco como en profundidad se observa un comportamiento similar a 25%. Sin embargo para umbral 50% de lámina se pudo apreciar una mayor homogeneidad de densidad, presentando menor rango de datos (figuras 12, 13). El estudio de la interacción umbral con profundidad confirma en cierta medida lo anterior. Se obtuvo para umbral 25 % y profundidad 10-20 cm mayor densidad de raíces dentro de la interacción, superando a todas las demás con 95 % de confianza.

En lo que involucra al estudio del radio, su interacción con umbral dejó de manifiesto la incidencia que tiene la posición del emisor. En este sentido se observa que en las plantas sometidas a umbral 50 %, en el radio opuesto al micro-aspersor existe mayor densidad de raíces de manera significativa. No siendo de la misma manera para umbral 25 %, ya que existen letras compartidas en la prueba de comparación múltiple.

A nivel productivo umbral 50% sería la opción recomendada, debido a que otorga un desarrollo de raíces que utiliza en mejor medida el marco de plantación. Dejando a las plantas más eficientes en la absorción de agua de lluvia. Este umbral es de menor frecuencia por lo tanto a igual superficie a plantar menor gasto en equipos de riego para propulsar el agua ya que no habrá que regar tanto de manera simultánea.

7. RESUMEN

Este trabajo fue realizado para conocer el efecto de dos umbrales de riego en el sistema radicular *Poncirus trifoliata*. El clon de trifolia en cuestión fue “Pomeroy” con Satsuma “Owari” como variedad comercial. Se muestrearon las raíces registrando cuatro elementos. El radio, la profundidad, la distancia al tronco y el umbral de riego de la muestra. La variable que se utilizó en este experimento fue densidad de raíces mg. (peso seco). cm^{-3} de suelo. Cuando fueron comparados únicamente los umbrales no permitieron detectar diferencias significativas. En el resto de los elementos considerados en el muestreo si fueron detectadas tales diferencias. Los efectos más notables los obtuvieron la distancia al tronco y profundidad. Se encontró que las raíces se concentran en los 30 primeros cm. de suelo. Siendo más homogénea la distribución de raíces en profundidad para umbral 50 %. Las distancias al tronco que concentran más raíces de manera significativa son 40 y 80 cm. A su vez también 40 cm. es superior a 80 cm., con una significancia de 0,05. Analizando el efecto del radio de manera conjunta con umbral se puede dejar en evidencia el efecto de la posición del emisor. En este sentido se observa que en las plantas sometidas a umbral 50 %, en el radio opuesto al micro-aspersor existe mayor densidad de raíces de manera significativa. Se recomienda utilizar el menos frecuente que tiene un desarrollo más homogéneo en profundidad y distancia al tronco. Se observa que estos sistemas radiculares presentan una distribución de densidad de raíces agregada.

Palabras clave: Densidad de raíces; *P. trifoliata* “Pomeroy”; Distancia al tronco; Profundidad; Umbral de riego; Micro-aspersor.

8. SUMMARY

This study was undertaken to determine the effect of two thresholds of irrigation in the root system *Poncirus trifoliata*. The clone trifolia in question was "Pomeroy" in Satsuma "Owari" as a commercial variety. Roots were sampled by recording four elements. The radius, depth, distance from the trunk and irrigation threshold of the sample. The variable used in this experiment was root density mg. (dry weight). cm⁻³ soil. When only the thresholds were compared, it unable detect significant differences. In the rest of the elements considered in the sampling such differences were detected. The most notable effects were the distance from the trunk and depth. It was found that the roots are concentrated in the top 30 cm. of soil. Being more homogeneous distribution of roots in depth for 50% threshold. The distances to the trunk where over roots significantly are 40 and 80 cm. In turn also 40 cm. is greater than 80 cm., with a significance of 0.05. Analyzing the effect of the radius jointly with threshold can be left in evidence the effect of the issuer position. In this regard it is noted that in plants subjected to 50% threshold, on the radio as opposed to micro-rotor there is a greater root density significantly. We recommend using the least often has a more homogeneous in depth and distance from the trunk. It is noted that these systems have a distribution root of root density aggregate.

Keywords: Root density; *P. trifoliata* "Pomeroy"; Distance to the trunk; Deep; Irrigation threshold; Micro-sprinkler.

9. BIBLIOGRAFIA

1. ABRISQUETA, J.M.; MOUNZER, O.; ÁLVAREZ, S.; CONEJERO, W.; GARCÍA ORRELLANA, Y.; TAPIA, L.M.; VERA, J.; ABRISQUETA, I.; RUIZ SÁNCHEZ, M. C. 2008. Root dynamics of peach trees submitted to partial rootzone drying and continuous deficit irrigation. *Agricultural Water Management*. 95: 959-967.
2. ALEXANDER, C.J. 1996. Evaluation of five citrus cultivars on minneola x trifoliolate and other rootstocks in the sundays river valey. In: Congress of the International Society of Citriculture (8th., 1996, Sun City, South Africa). Proceedings. Nelspruit, International Society of Citriculture. pp.100-102.
3. ATKINSON, D. 1976. Preliminary observations of the effects of spacing on the apple root system . *Scientia Horticulturae*. 4: 285-90.
4. _____.; WILSON, S.A. 1980a. The growth and distribution of fruit tree roots, some consequences on nutrient uptake. In: Mineral nutrition of fruit trees. New York, Butterworths. pp. 137-150.
5. _____.; WHITE, G.C. 1980b. Some effects of orchard soil management on the mineral nutrition of apples trees. In: Mineral nutrition of fruit trees. New York, Butterworths. pp. 241-254.
6. BENITEZ VEGA, J. 2006. Efecto del laboreo en el desarrollo del sistema radicular del trigo, habas, garbanzos y girasol en un vertisol de secano. Tesis de Doctorado. Córdoba, España. Universidad de Córdoba. 169 p.
7. BÖHM, M. 1979. Methods of studying root systems. Berlín, Springer-Verlag. 188 p.
8. BORBA BOURDIN, R.; DE MORALES FASANA, J.P ; POSES PECOCHE, S. 1993. Efecto de tres diferentes regimenes de riego por goteo sobre mandarinas de la variedad Satsuma. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de.Agronomía. 62 p.

9. BRAVDO, B.A.; LEVIN, I.; ASSAF, R. 1992. Control of root size and root environment of fruits trees for optimal fruit production. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 15: 699-712.
10. CARRAU, F.; BISIO, L.; VIGNALE, B. 2001. Variedades y portainjertos cítricos en Uruguay. *In*: SUH Congreso Nacional (8º, 2001, Salto, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 1-7.
11. CASTLE, W. S. 1978. Citrus root systems; their structure, function, growth and relationship to tree performance. *In*: Congress of the International Society of Citriculture (3rd, 1978, Sydney, Australia). Proceedings. Griffith, International Society of Citriculture. pp. 62-69.
12. _____. 1980. Fibrous root distribution of Pineapple oranges trees on rough lemon rootstock at tree spacing. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 105: 478-480
13. CONTRERAS-MORALES, E.; ALMAGUER-VARGAS, G.; ESPINOZA-ESPINOZA, J.R.; MALDONADO-TORRES, R.; ÁLVAREZ-SANCHEZ, E. 2008. Distribución radical de árboles de limón persa (*Citrus latifolia* Tan.). *Revista Chapingo, serie Horticultura*. 14 (2): 223-234.
14. COVACEVICH, F; ECHEVERRIA, H.E.; AGUIRREZABAL, L.A.N. 1998. Influencia del fósforo sobre el crecimiento aéreo y radical de plantas de trigo. *Ciencia del Suelo*. 16: 94-98.
15. EISSENTAT, D.M. 1991. On the relationship between specific root length and the rate of root proliferation. *New Phytologist*. 118: 63-68.
16. FAUST, M. 1989. Nutrition of fruit trees. *In*: Physiology of temperate fruit trees. New York, John Wiley. cap 2, pp. 53-132.

17. GARCIA PETILLO, M. 2002. Respuesta a diferentes manejos del riego y balance hídrico de un huerto de cítricos. Tesis doctoral. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia. 194 p.
18. _____.; PUPPO, L.; HAYASHI, R.; MORALES, P. 2010. Curso de riego y drenaje; guía de clase. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 285 p.
19. GOÑI, C. 1997. Estudio del sistema radicular de trifolia. In: Reunión Técnica (9ª., 1997, Salto). Avances de resultados. Montevideo, INIA. pp. 11-19 (Actividades de Difusión no. 155).
20. _____. 2010a. Comparación del sistema radicular bajo condiciones de riego y secano. In Simposio sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico en Citrus (3º., Salto, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. 1 disco compacto.
21. _____.; OTERO, A. 2010b. El uso de mulches una opción más sustentable para cítricos. In Simposio sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico en Citrus (3º., Salto, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. 1 disco compacto.
22. _____.; _____. 2011. Supplementary irrigation in "Spring Navel" orange and Satsuma "Owari" mandarin on temperate growing conditions. Acta Horticulturae. no. 889: 331-338.
23. HAAS, A. R. C. 1940. Importance of root aeration in avocado and citrus trees. California Avocado Association. Yearbook 25: 77-84.
24. KOLOWSKY, T.; KRAMER, P. J.; PALLARDY, S.G. 1991. The physiological ecology of woody plants. San Diego, Academic Press. 657 p.

25. KOSHITA, Y.; TAKAHARA, T. 2004. Effect of water stress on flower- bud formation and plant hormone contenido of satsuma mandarin (Citrus unshiu Marc.). Proceedings of the Florida State Horticultural Society. 99: 301-307.
26. MAGGS, D.H. 1964. Growth rates in relation to asimilate suplí and demand. I. Leaves and roots as limiting regions. Journal of Experimental Botany. 15: 574-583.
27. MATTOS, D. Jr.; GRAETZ, D.A; ASOK, K.A.2003. Biomass distribution and nitrógeno-15 partitioning in citrus trees on a sandy entisol. Soil Science Society of America Journal. 67: 555-563.
28. MOON, D.G.; KO, S.W., KIM, Y.H.; CHOI, Y.H. 2004. Effect of water stress on soluble solids and acidity in variours sized fruit of satsuma mandarin. In: Congress of the International Society of Citriculture (10th, 2004, Marruecos). Proceedings. Agadir, International Society of Citriculture. pp.674-678.
29. MORGAN, K.T.; OBREZA, T.A.; SHOLBERG, J.M.S. 2007. Orange tree fibrous root length distribution in space and time. Journal of the American Society for Hort Science. 132 (2): 262-269.
30. NEWMAN, E.L. 1969. Resistance to water flow in soil and plant. Journal of Applied Ecology. 6: 1-12.
31. OTERO, A.; GOÑI, C.; CASTAÑO, J.P. 2009. Condiciones climáticas en el ciclo productivo. In: Reduciendo Incertidumbres; el Riego en la Productividad de los Cítricos (2009, Salto). Avances de investigación. Montevideo, INIA. pp. 2-13 (Actividades de Difusión no. 576).
32. PARSONS LARRY, R. 2000. Irrigation and Florida Citrus. In: Congress of the International Society of Citriculture (9th, 2000, Orlando, Florida). Proceedings. Orlando, International Society of Citriculture. pp. 236-238.

33. PHILLIPS, S.H.; YOUNG, H.M. 1979. Agricultura sin laboreo, labranza cero. Montevideo, Hemisferio Sur. 224 p.
34. PRALORAN, J.C. 1977. Los agrios; técnicas agrícolas y producciones tropicales. Barcelona, España, Blume. 520 p.
35. SALGADO, E.; CAUTÍN, R. 2008. Avocado root distribution in fine and coarse- textured soil under drip and microsprinkler irrigation. *Agricultural Water Management*. 95: 817-824.
36. SAS INSTITUTE. 2008. Genmod; versión 9.2. Cary, N.C. 109 p.
37. SCHULTZ, R.P. 1972. Root development of intensively cultivated slashpine. *Soil Science Society of America*. 36: 158-162.
38. SOKALSKA, D.I.; HAMAN, D.Z.; SZEWCZUK, A.; SOBOTA, J.; DERÉN, D. 2009. Spatial root distribution of mature apple trees under drip irrigation system. *Agricultural Water Management*. 96: 917-924.
39. SPIEGEL-ROY, P.; GOLDSCHMIDT, E.E. 1996. Biology of citrus. Biology of horticultural crops. New York, Cambridge University. 230 p.
40. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. COMISIÓN HONORARIA NACIONAL DEL PLAN CITRICOLA. 1997. Censo nacional citrícola 1996. Montevideo. 100 p.
41. _____ . _____ . DIRECCION DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS AGROPECUARIAS. 2010. Encuesta citrícola. Montevideo. 28 p. (Serie de Encuestas no. 299).
42. WADDINGTON, J. 1971. Observation of plant root in situ. *Canadian Journal of Botany*. 49: 1850-1852.

43. WHITNEY, J.D.; ELEZABY, A.; CASTLE, W.S.; WHEARTON, T.A.; LITTELL, R.C. 1991. Citrus tree spacing effects on soil water use, root density and fruit yield. *Transactions of the ASAE*. 34 (1): 129-134.
44. WILLIAMS, L.E.; SMITH, R.J. 1991. The effect of rootstock on the partitioning of dry weight, nitrogen and potassium, and root distribution of cabernet sauvignon grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*. 42 (2): 118-122.

10. ANEXOS

1. Descripción del suelo

Observación con taladro Edelman del suelo del sitio experimental

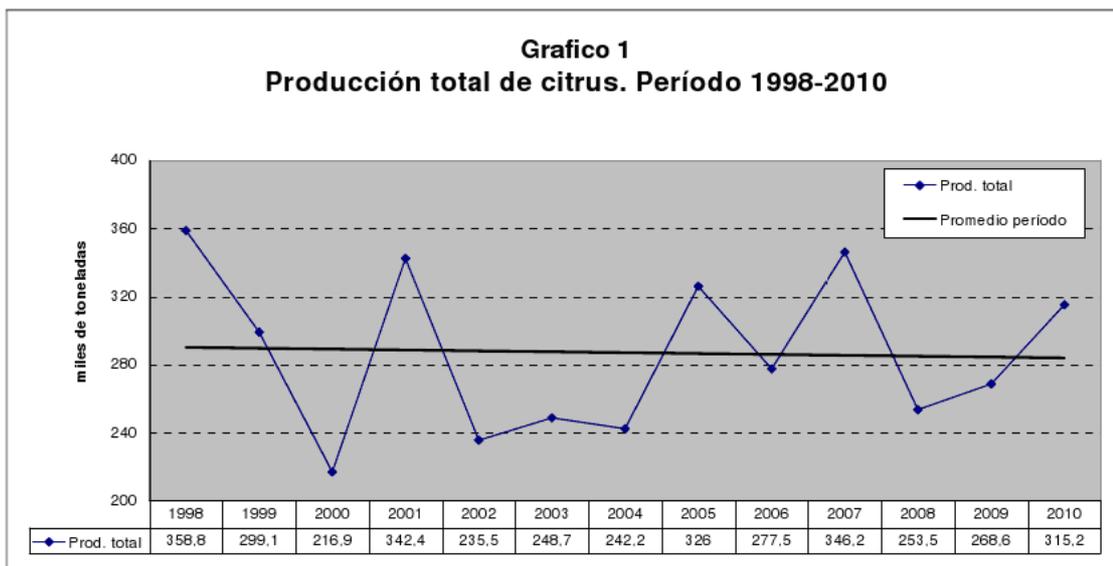
Profundidad(cm)	Horizonte	Descripción
0-30	A1	Pardo oscuro (7.5YR 3.5/2, Ar a ArF. Transición abrupta
30-40	B1	Pardo grisáceo a pardo muy oscuro (10 YR 2.5/2), ArAc. Transición clara
40-47	B21t	Gris a pardo grisáceo, muy oscuro (10YR 3/1.5) ArAc pesado con gravilla. Transición clara
47-60	B22t	Gris muy oscuro (10YR 3/1) con moteado pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) común pequeño, tenue, Ac pesado con abundante gravilla y cantos rodados. Transición clara
60-95	B23t	Gris oscuro (10YR 4/1) y gris (10YR 5/1) con moteado rojo amarillento (5YR 5/8) y rojo (2.5YR 4/8) abundante mediano neto y sobresaliente, Ac pesado con gravilla. Transición gradual
95-105	B3	Gris (10YR 5/1) y pardo a pardo oscuro (7.5 YR 4/4) con moteado pardo amarillento (5YR 5/8), poco pequeño y mediano neto, Ac pesado con Ar, concreciones Fe-Mn pocas pequeñas y friables. Transición abrupta.

105-113	C	Pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) Ac. con abundante Ar. Transición abrupta
113+	R	Roca consolidada de Formación Salto

2 Producción por año, según especie Zafra 2010 y 2009

Especie	Producción (toneladas)			
	2010	2009	Variación 2010-2009	
			Miles de t	%
TOTAL	315.208	268.621	46.587	17
Naranja	154.210	130.100	24.110	19
Mandarina	121.445	92.777	28.668	31
Limón	37.656	41.993	-4.337	-10
Pomelo	1.897	3.751	-1.854	-49

Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2010)



Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2010)

Zafra citricola 2010. Superficie citricola, existencia de plantas, producción y productividad, según especies

Especie	Superficie citricola (ha)		Existencia de plantas (miles)		Produccion (t)	Productividad	
	Efectiva total	En producción	Total	En producción		t/ha	Kg/planta en prod.
Total	17.018	13.542	7.531	5.895	315.209	23	
Naranja	8.221	6.120	3.485	2.546	154.211	25	44
Mandarina	6.645	5.517	3.173	2.585	121.445	22	38
Limon	1.935	1.709	788	686	37.656	22	48
Pomelo	217	196	85	78	1.897	10	22

Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2010)

Superficie efectiva total, plantas totales, producción y superficie regada según especie

Especie	Superficie efectiva total (ha)	Planta totales (miles)	Producción (miles t)	Superficie regada			
				2010		2009	Variación 2010-09 (ha)
				Ha	%	(ha)	
Total	17.018	7.531	315,2	8.543	50	7.986	557
Naranja	8.221	3.485	154,2	3.714	45	3.395	319
Mandarina	6.645	3.173	121,4	3.718	56	3.484	234
Limon	1.935	788	37,7	1.046	54	1.019	27
Pomelo	217	85	1,9	65	30	87	-22

Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2010)

Productividad con y sin riego, según especie

Especie	Productividad				
	Con riego		Sin riego		Diferencia (t/ha)
	Kg/planta	t/ha	kg/planta	t/ha	
Total	59	27	38	15	12
Naranja	66	28	43	17	12
Mandarín	51	25	35	14	11
Limón	65	27	34	12	15
Pomelo	30	12	21	8	4

Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2010)

3. vigor de las plantas, expresado en m³/planta

50% de lámina

Árbol No. 1-

2,9 m alto

3,6 m diámetro fila

3,8 m diámetro entrefila

Diámetro del tronco 0,43 m, emisor ubicado sobre radio A a 0,35 m del tronco.

Volumen de copa 6,17 m³

Árbol No. 2-

2,75 m alto

3,45 m diámetro fila

3,40 m diámetro entrefila

Diámetro del tronco 0,355m, emisor ubicado sobre radio A a 0,4 m de distancia al tronco. Volumen de copa 5,36 m³

Árbol No. 3-

2,85 m alto

3,1 m diámetro fila

2,65 diámetro entrefila

Diámetro del tronco 0,385 m , emisor ubicado sobre radio A a 0,46 m de distancia al tronco.

Volumen de copa 4,3 m³

El volumen de copa promedio de umbral 50 % es de: 5, 28 m³.

25% de lámina

Árbol No. 1-

2,55 m alto

2,80 m diámetro de fila

2,75 m diámetro de entrefila

Diámetro del tronco 0,373 m, emisor ubicado sobre radio E, a 0,5 m de distancia al tronco.

Volumen de copa 3,8 m³

Árbol No. 2-

2,40 m alto

3,05 m diámetro de fila

3,00 m diámetro de entrefila

Diámetro del tronco 0,32 m, emisor ubicado sobre radio E, a 0,27 m de distancia al tronco.

Volumen de copa 4,15 m³

Árbol No. 3-

2,55 m alto

3,35 m diámetro de fila

3,45 m diámetro de entrefila

Diámetro del tronco 0,45 m, emisor ubicado sobre radio E, a 0,26 m de distancia al tronco.

Volumen de copa 5,086 m³

El volumen de copa promedio de umbral 25 % es de: 4,35 m³.

El perímetro del tronco a partir del cual se obtiene el diámetro se obtiene midiendo a 0,15 m por encima de la zona del injerto.

Perímetro / π = 2 r = diámetro

Formula de cálculo para el volumen de copa

$$\frac{4}{3} \pi \left\{ \left(\frac{r_h + r_f + r_{ef}}{3} \right)^2 \right\} / 2 = m^3$$

Siendo r_h : radio de la altura, r_f : radio de la fila y r_{ef} : radio de la entrefila.

4. Posición del emisor según umbral

En las plantas muestreadas para umbral 25% en todos los casos se ubicaron los emisores (microaspersores) en el radio E a una distancia al tronco promedio de 0,34 metros y un desvío estándar de 0,135 m.

En las plantas muestreadas para umbral 50% en todos los casos se ubicaron los emisores (microaspersores) en el radio A a una distancia al tronco promedio de 0,403 metros y un desvío estándar de 0,055 m.