

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA DE FRUTICULTURA



TALLER DE LICENCIATURA

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE RAÍCES EN PALTO**  
*(Persea americana Mill cv. Hass)* EN DOS  
SUELOS BAJO DOS SISTEMAS DE RIEGO.

**PATRICIA PILAR VILLANUEVA FUENZALIDA**

QUILLOTA CHILE

1998

## ÍNDICE DE MATERIA

1. INTRODUCCIÓN.
2. MATERIAL Y MÉTODO.
  - 2.1. Ubicación y caracterización de la zona en estudio.
  - 2.2. Material experimental.
    - 2.2.1. Caracterización de los sectores en estudio.
    - 2.2.2. Caracterización de los árboles.
    - 2.2.3. Instrumentos de medición.
      - 2.2.3.1. Sonda de capacitancia.
      - 2.2.3.2. Sonda de neutrones.
  - 2.3. Metodología de trabajo.
    - 2.3.1. Movimiento de agua en el suelo.
    - 2.3.2. Consumo efectivo de agua en el suelo.
    - 2.3.3. Instalación de los tubos de acceso.
    - 2.3.4. Densidad radical.
3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.
  - 3.1. Análisis de densidad radical.
    - 3.1.1. Sistema de riego por goteo.
    - 3.1.2. Sistema de riego por microaspersión.
4. CONCLUSIONES.
5. RESUMEN.
6. LITERATURA CITADA.

ANEXOS

## 1. INTRODUCCIÓN

Debido a que el agua aportada en forma de riego localizado genera humedecimiento parcial de la superficie del suelo (BRESLER, 1977; TORO, 1995), el conocimiento de la distribución del sistema radical es importante para el manejo de riego y fertilizantes (VELLIDIS, SMAJSTRLA, ZAZUETA, 1990), ya que una alta densidad de raíces permite un mejor uso del agua y fuentes minerales (ATKINSON, 1980).

En el palto, la raíz puede ser considerada un sistema compuesto de raíces largas, raíces cortas y pelos radicales. Las raíces largas forman la mayor parte del sistema permanente, son generalmente leñosas y tienen crecimiento radial cambial. Las raíces cortas, a su vez, son de efímera existencia (máximo dos años), no tienen actividad cambial y al comienzo son tiernas y blanquecinas, pero luego se tornan suberizadas, de color pardo, conformando una parte importante del sistema radical (GIL, 1997). Las raíces pueden desarrollar proyecciones de sus células epidérmicas denominadas pelos radicales que incrementan el contacto suelo-raíz, sin embargo, el palto presenta una baja frecuencia lo que lo hace ineficiente en la absorción de agua (WHELEY, 1990).

Las primeras técnicas de cuantificación de raíces se caracterizan por ser destructivas, laboriosas y alteran no sólo las raíces sino que además el sistema suelo que las contiene. Dentro de los antiguos métodos de investigación radicular se encuentran las excavaciones, el uso del barreno, perfiles de suelo y paredes de vidrio, desarrollados por WEAVER (1926); GHLAROV et al. , (1968); SCHURMAN y GOEDEWAAGEN, (1971); KOLESNIKOV, (1971); BÓHM, (1979) y UPCHURCH y TAYLOR, (1990), citados por BOX (1996).

Hoy en día se han desarrollado modernas técnicas de investigación que minimizan las alteraciones del medio edáfico, pero que involucran un alto costo y dificultad de implementar a nivel de campo. Además, la mayoría de ellas son utilizadas para estimar la extensión del sistema radical de plantas en maceta y presentan restricciones para su uso en árboles frutales, al igual que no entregan información acerca de la distribución de éstas en el suelo. Las técnicas consideradas de "alta tecnología" permiten el estudio de las raíces *"in situ"* mediante paredes de vidrio y/o tubos de vidrio, y en ellas se puede incluir: rizotrones, capacitancia eléctrica, microdensímetros, resonancia magnética, minirizotrones, rizolaboratorios, cámaras de televisión de alta resolución y tomografías con rayos X (BOX, 1996).

En general, las técnicas de investigación de raíces buscan cuantificar el sistema radical basándose en un principio que determina directa o indirectamente la cantidad de éstas presentes en un área de suelo, en una planta o en un grupo de ellas.

Varios investigadores han encontrado diferencias en el desarrollo de raíces en función del volumen de suelo humedecido por el sistema de riego, lo que toma especial importancia bajo riego por goteo ya que el agua humedece un pequeño volumen de suelo y las raíces se adaptan rápidamente creciendo dentro de ésta zona sin presentarse efectos detrimentales para el árbol (FAUST, 1989).

Al respecto, VILLABLANCA (1994) señala que en un huerto regado por microaspersión el crecimiento de raíces está fuertemente determinado por el volumen y distribución del agua aplicada y UGARTE (1996) indica que en riego por goteo las raíces se concentran cerca de la zona de máxima saturación. Lo anterior concuerda con lo observado por SALAZAR y CORTES (1986) que trabajando con paltos adultos (*Persea americana* Mill, var Fuerte) encontró diferencias en la distribución

horizontal de raíces bajo condiciones de suelo pesado y liviano, observando una distribución más uniforme en suelo liviano.

BIELORAI et al. (1981), en naranjos adultos bajo riego localizado, encontraron una correspondencia entre altas densidades radiculares y mayores volúmenes de agua de riego aplicados y BEVINGTON y CASTLE (1985); BIELORAI (1982); BIELORAI et al. (1981) y HILGEMAN (1977) señalan que en árboles de distintas edades una baja disponibilidad de agua en el suelo reduce el crecimiento radicular. Por otro lado, altas cantidades de agua provocan saturación disminuyendo el flujo de oxígeno hacia estratas inferiores (LAHAV y KALMAR, 1992), factor que predispone para el ataque de *Phytophthora cinamomi* (WHILEY et al. 1987; ZENTMYER, 1972). Al respecto, VALORAS et al. (1964), indica que las raíces de palto no crecen cuando la tasa de difusión de oxígeno es menor a  $20 \text{ mg cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ .

Considerando que en riego localizado se generan zonas de mojamiento que en el suelo concentran las raíces absorbentes del árbol, se podría suponer que existen puntos donde una mayor densidad de raíces absorbentes producirá un mayor consumo hídrico en un lapso determinado. Estos puntos corresponderían a "centros de consumo de agua".

Si lo anterior es válido, entonces se podría cuantificar indirectamente la cantidad y localización de las raíces de un árbol, detectando la ubicación y magnitud de los "centros de consumo de agua", mediante mediciones sistemáticas del contenido de humedad del suelo en diversas posiciones del volumen edáfico correspondiente

Entonces, el objetivo de éste trabajo es determinar si existe una relación entre densidad de raíces absorbentes y consumo de agua, bajo condiciones de suelo pesado y liviano, en dos tipos de riego, goteo y microaspersión.

## 2. MATERIAL Y MÉTODO

### 2.1. Ubicación y caracterización de la zona en estudio:

El estudio se realizó en el sector La Palma, Provincia de Quillota, V Región, Chile. El suelo pertenece a la serie La Palma, es de tipo sedimentario, profundo y origen coluvial; substratum de gravas y piedras con material intersticial de suelo, permeabilidad moderada, buen drenaje; plano, en posición de plano inclinado y microrelieve ligeramente ondulado (MARTÍNEZ, 1981). El clima corresponde al tipo mediterráneo (NOVOA et al, 1989).

### 2.2. Material experimental:

#### 2.2.1. Caracterización de los sectores en estudio

Para realizar el estudio, se escogieron dos sectores en la Estación Experimental "La Palma" y dos en el Fundo "La Palma", diferenciados por el sistema de riego y tipo de suelo (Cuadro 1).

#### 2.2.2. Caracterización de los árboles.

En cada sector se seleccionaron tres árboles adultos cv. Hass, injertados sobre franco; homogéneos en cuanto a tamaño, vigor, sanidad y carga frutal. La distancia de plantación de los árboles es de 10 \* 10 m, con uno en quince (correspondiente a otra variedad), en la Estación Experimental, y de 9 \* 9 en el Fundo "La Palma".

CUADRO 1. Características de riego y suelo de los sectores en estudio.

SECTOR	TIPO DE RIEGO	TIPO DE SUELO
<b>ESTACION EXPERIMENTAL "A"</b>	Microaspersión, 2 emisores por árbol ubicados sobre la hilera a 2,5 m del tronco, con un gasto de 36 l/h cada uno.	Suelo "pesado", con dos estratas de textura franco arcillosa y una tercera de tipo arenosa con piedras pequeñas a medias.
<b>ESTACIÓN EXPERIMENTAL "B"</b>	Microaspersión, 2 emisores por árbol ubicados sobre la hilera a 2,5 m del tronco, con un gasto de 36 l/h cada uno.	Suelo "liviano", cuya primera estrata es de tipo franco, con piedras pequeñas; la segunda y tercera son franco arenosa a areno francosa, con gravas y piedras abundantes.
<b>FUNDO "A"</b>	Goteo, 12 emisores/planta, en 2 líneas ubicadas a 1,5 m del tronco, con goteros a 1 m en la línea y un gasto aforado de 2,9 l/h cada uno.	Suelo "pesado", con dos estratas de textura franco arcillosa y una tercera de tipo arenosa con piedras pequeñas a medias.
<b>FUNDO "B"</b>	Goteo, 12 emisores/planta, en 2 líneas ubicadas a 1,5 m del tronco, con goteros a 1 m en la línea y un gasto aforado de 2,9 l/h cada uno.	

### 2.2.3. Instrumentos de medición

#### 2.2.3.1. Sonda de capacitancia

La sonda de capacitancia, es un instrumento usado en la agricultura para medir contenidos de agua en el suelo. Se basa en el principio de que distintos contenidos de humedad responden a cambios en la constante dieléctrica de un material. La mayoría de los elementos presentes en el suelo tienen una constante dieléctrica entre 2 y 4. La constante dieléctrica del agua es 78. Por lo tanto, al aumentar el contenido de humedad en el suelo, la constante dieléctrica de la mezcla suelo-agua también se incrementa (TROXLER ELECTRONIC LABORATORIES, 1995).

El instrumento consta de una unidad de control, la sonda y la guía de acceso (Anexo 1). La unidad de control es el componente electrónico que guarda las medidas y pruebas de calibración para luego transmitir las a una impresora o computador. La sonda es el sensor que mide el contenido de humedad del suelo mediante electrodos. La guía de acceso es el componente que permite la entrada de la sonda con la precisión requerida a la profundidad específica (TROXLER ELECTRONIC LABORATORIES, 1995).

#### 2.2.3.2. Sonda de neutrones

La sonda de neutrones modelo CPN 503DR HYDROPROBE mide el contenido de humedad del suelo u otros materiales. Para determinar el contenido de humedad en el suelo, la cápsula radioactiva de Americium-241:Beryllium, emite neutrones radiactivos en la zona de suelo a medir. La alta energía de los neutrones es moderada por la colisión con los átomos de hidrógeno presentes en el agua del suelo y al perder energía se convierten en neutrones termalizados que son detectados por el sensor de Helium -3. Mientras mayor sea la cantidad de neutrones termalizados detectados por

la sonda mayor será el contenido de humedad presente en el suelo (BOART LONGYEAR COMPANY, 1995).

Al igual que la sonda de capacitancia, consta de una unidad de control, la sonda y la guía de acceso. El volumen de suelo representado en cada medición es aproximadamente esférico con un radio de 15 cm. (Anexo 2)

### 2.3. Metodología de trabajo:

#### 2.3.1. Movimiento de agua en el suelo

Para determinar el delta de humedad generado por el movimiento de agua en el suelo después de un riego, se tomaron lecturas de humedad volumétrica entre riegos consecutivos en zonas sin raíces bajo riego por goteo y microaspersión, tanto en suelo pesado como liviano (Anexo 6).

#### 2.3.2. Consumo efectivo de agua en el suelo

Para determinar el consumo efectivo de agua por las raíces (CE) se consideró el delta de humedad entre riegos consecutivos, medido en zonas con raíces, menos el movimiento de agua en el suelo, medido en zonas sin raíces (Anexo 7). El cálculo se realizó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$CE = (\theta_f - \theta_i)_R - (\theta_f - \theta_i)_{SR}$$

**Donde:**

**$\theta_i$  = Humedad volumétrica inicial**

**$\theta_f$  = Humedad volumétrica final**

**R = Con raíces**

**SR = Sin raíces**

Las mediciones se realizaron 24 horas después de un riego y 1 hora antes del riego siguiente, a 50 cm de distancia desde el tronco, separadas 50 cm entre sí y en tres profundidades : a 20 y 40 cm en el sector del Fundo (A y B) con la Sonda de Capacitancia y a 20, 40 y 60 cm en el sector de la Estación Experimental (A y B) con la Sonda de Neutrones.

Las diferencias de profundidades medidas se debe a la naturaleza de los suelos, que en caso del Fundo presenta gran cantidad de piedras bajo los 40 cm limitando la entrada del tubo de acceso a mayores profundidades.

### 2.3.3. Instalación de tubos de acceso.

Los tubos se instalaron evitando compactaciones o bolsones de aire (TROXLER ELECTRONIC LABORATORIES, 1995) (Anexo 3). Por cada árbol se ubicaron 5 tubos de acceso, considerando una separación de 50 cm, paralelos a la línea de riego, a 50 cm del tronco y 50 cm de la línea de riego (Anexo 4). La presencia de raíces en la zona próxima al emisor es baja (VILLABLANCA, 1994) y no existe efecto de la orientación en la densidad de raíces absorbentes (UGARTE, 1996)

### 2.3.4. Densidad radical

Para determinar la densidad radical se abrieron zanjas de 60 \* 75 \* 300 cm, paralelas a la línea de riego (Anexo 5). Mediante una cuadrícula transparente de 480 cm<sup>2</sup>, se contó frente a cada tubo el número de raíces activas caracterizadas por tener de color blanco, no suberizadas y menores a 2 mm de diámetro (ADATO Y LEVINSON, 1991) en tres profundidades: 20, 40 y 60 cm. (Figura 1). Luego se calculó la densidad radical como:

$$D.R = N^{\circ} \text{ de raíces activas} / 480\text{cm}^2$$

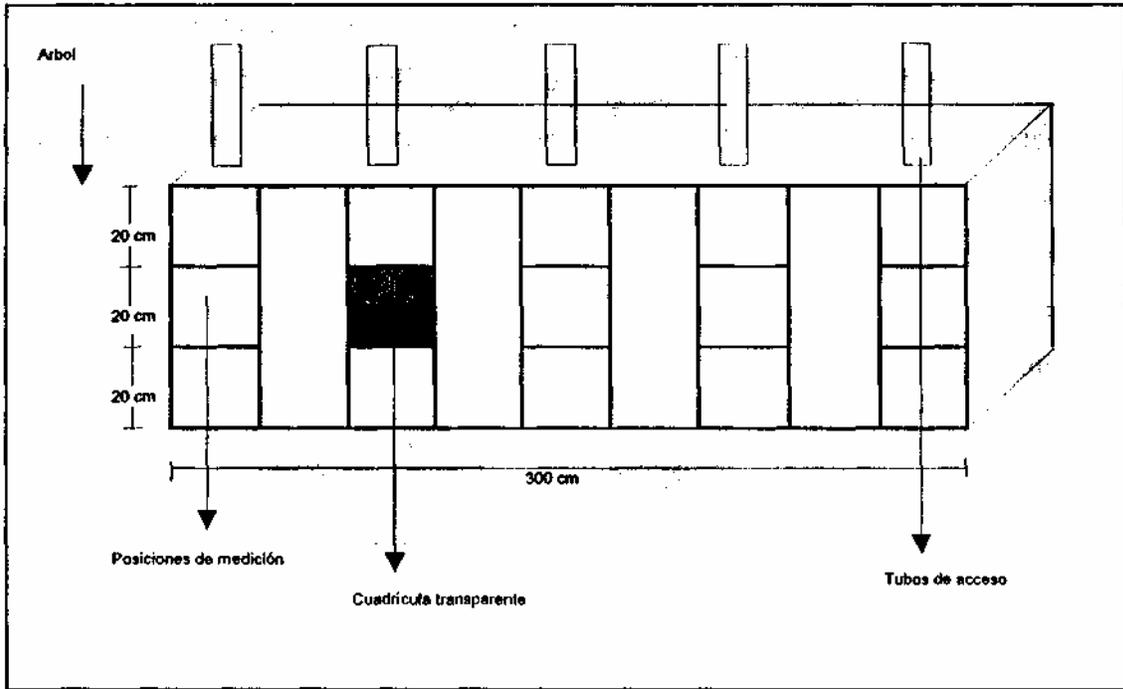


FIGURA 1. Posición de la cuadrícula en la zanja de medición

### 3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. Análisis de densidad radical:

Al analizar la densidad de raíces presentes durante la temporada , se observó un notable descenso en comparación con lo observado por UGARTE (1996) y TORO (1995), tanto en el sector de la Estación Experimental "La Palma" como en el Fundo "La Palma" en mediciones realizadas en primavera y verano (Cuadro 2). En éste sentido, la falta de agua producto de un período de sequía que afectó a nivel nacional al sector silvoagropecuario, se tradujo en los árboles en estudio en una marchitez generalizada, clorosis, defoliación, exceso de floración y en una baja importante en la productividad por bajos calibres y caída de frutos. A nivel radical, es probable que gran parte de las raíces del árbol se trasladaran hacia estratas más profundas, encontrándose una baja cantidad de éstas en los primeros 60 cm de profundidad.

CUADRO 2. Densidad de raíces promedio (N° raíces activas / cm<sup>2</sup>) por temporada y época de medición.

Temporada	Primavera	Verano
94/95	1.64	3.72
95/96	0.48	0.47
97/98	0.009	0.007

#### 3.1.1. Sistema de riego por goteo

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, el consumo de agua generado por las raíces presenta una relación directa con la densidad de raíces a los 40

cm de profundidad en suelo liviano y a los 20 cm en suelo pesado, con un coeficiente de determinación de 0,97 y 0,53, respectivamente. Para las demás condiciones no se obtuvo relación (Cuadro 3).

CUADRO 3. Análisis de regresión lineal para riego por goteo

Suelo	Profundidad	Coefficiente de determinación	Error	F calculado	F crítico
Liviano	0 a 20	0.08321989	0.00192548	0.02092154	0.89416357
Pesado	0 a 20	0.53438264	0.00381765	1.19912123	0.35353796
Liviano	20 a 40	0.97034157	0.00034187	48.3371308	0.006104
Pesado	20 a 40	0.2340935	0.00462866	0.17393067	0.70468796

En general, el consumo hídrico en los primeros centímetros de suelo no debería ser representativo de la densidad de raíces, ya que a este nivel las pérdidas de agua por evaporación directa son más significativas y afectan el abastecimiento de agua por las raíces (KRAMER, 1989).

El sector regado por goteo correspondiente al Fundo "La Palma", presentaba la momento de las mediciones una gran cantidad de hojas en forma de "mulch" que podría estar influenciando una menor pérdida de agua por evaporación. VILLABLANCA (1994) encontró una mayor cantidad de raíces en suelos con "mulch". Lo anterior indica una influencia del "mulch" en el consumo hídrico que debería considerarse al momento de determinar la densidad de raíces.

### 3.1.2. Sistema de riego por microaspersión

En microaspersión, los resultados se muestran inferiores comparados con los obtenidos en riego por goteo y sólo se observa una relación directa entre densidad de

raíces y consumo hídrico en suelo pesado a los 60 cm de profundidad, en cuyo caso el coeficiente de determinación es de 0,65 (Cuadro 4).

CUADRO 4. Análisis de regresión lineal para riego por microaspersión.

Suelo	Profundidad	Coefficiente de determinación	Error	F calculado	F crítico
Liviano	0 a 20	0.69235609	0.00126358	2.76210526	0.19510702
Pesado	0 a 20	0.340878	0.0025917	0.39442472	0.57453895
Liviano	20 a 40	0.87655564	0.00155215	9.95056061	0.05108943
Pesado	20 a 40	0.14145511	0.00356013	0.06125432	0.82049621
Liviano	40 a 60	0.04003204	0.00294156	0.00481541	0.94904324
Pesado	40 a 60	0.65186283	0.00236588	2.21671219	0.23327427

Para la condición de suelo liviano entre los 0 y 40 cm de profundidad se presenta una relación inversa entre consumo hídrico y densidad radical bajo riego por microaspersión. En este caso es probable que las mediciones del contenido de humedad del suelo realizadas dos semanas antes del recuento de raíces no sean representativas del consumo de agua generado por las raíces debido a la corta vida que éstas presentan. Al respecto, FLORES, VITE y BORYS (1988) y UGARTE (1996) señalan que las raíces finas del palto presentan un desplazamiento ondulante de formación, regeneración y muerte que puede ser consecuencia de un mecanismo adaptativo del palto al constante cambio de las condiciones del suelo.

Por otro lado, bajo microaspersión se utilizan bajas frecuencias y láminas de riego mayores en comparación a riego por goteo, lo que crea problemas de aireación los días siguientes al riego. Se encontró bajo riego por goteo un 44% más de raíces absorbentes, similar a lo observado por UGARTE (1996) y TORO (1995) en el mismo suelo, donde obtuvieron un 43% y 39%, respectivamente. Bajo estas

condiciones, es posible que la muerte parcial del sistema radical o el retraso en la emisión de raíces blancas por condiciones de saturación del suelo, dificulte la determinación de la densidad de raíces del palto por medio del consumo hídrico cuando ambos parámetros no se miden simultáneamente.

Bajo microaspersión en suelo liviano, la alta conductividad hidráulica genera descensos en el contenido hídrico por movimiento de agua en profundidad, tal como se muestra en mediciones de humedad volumétrica realizadas entre riegos consecutivos en zonas sin raíces (Figura 2). En suelo pesado, en cambio, se presentan condiciones de sobresaturación que limitan el desarrollo de raíces absorbentes o aumentan la posibilidad de problemas fungosos (LAHAV y KALMAR , 1983; WHILEY *et al*, 1987; VILLABLANCA, 1994 y TORO, 1995). Lo anterior indica que los primeros 20 cm de suelo pueden no ser representativos del consumo de agua generado por las raíces absorbentes del palto.

Al evaluar el contenido de humedad entre riegos consecutivos en zonas sin raíces, se observó una influencia del sistema de riego y el tipo de suelo en el movimiento de agua en el suelo (Anexo 6). En este sentido, el movimiento de agua en el suelo puede ser un punto crítico en la determinación del consumo de agua por parte de las raíces absorbentes del palto. Con respecto a este punto se debe considerar que dentro de cada clasificación de suelo, pesado y liviano, puede existir gran variabilidad de las características físicas de éste en cuanto a textura, estructura y proporción de macro y microporos.

La gran pedregosidad del sector en estudio presenta dificultad para la determinación del consumo hídrico efectivo, ya que disminuye la capacidad de retención de agua del

suelo y el consumo hídrico queda "enmascarado" en un gran delta de humedad generado por percolación del agua hacia estratas más profundas.

La Figura 3, muestra el contenido inicial y final de agua entre riegos consecutivos y la densidad de raíces presentes en el suelo bajo riego por microaspersión, y se observa que en zonas sin presencia de raíces se generan deltas de humedad del orden del 3% de humedad volumétrica. Del mismo modo, sectores de suelo con baja densidad radical pueden generar deltas de humedad mayores que sectores con alta densidad radical cuando la proporción de macroporos se incrementa por efecto de la pedregosidad. Por otro lado, el sector bajo riego por goteo, presenta una mayor pedregosidad y los deltas de humedad generados en sectores sin raíces superan el 10% de humedad volumétrica (Figura 4).

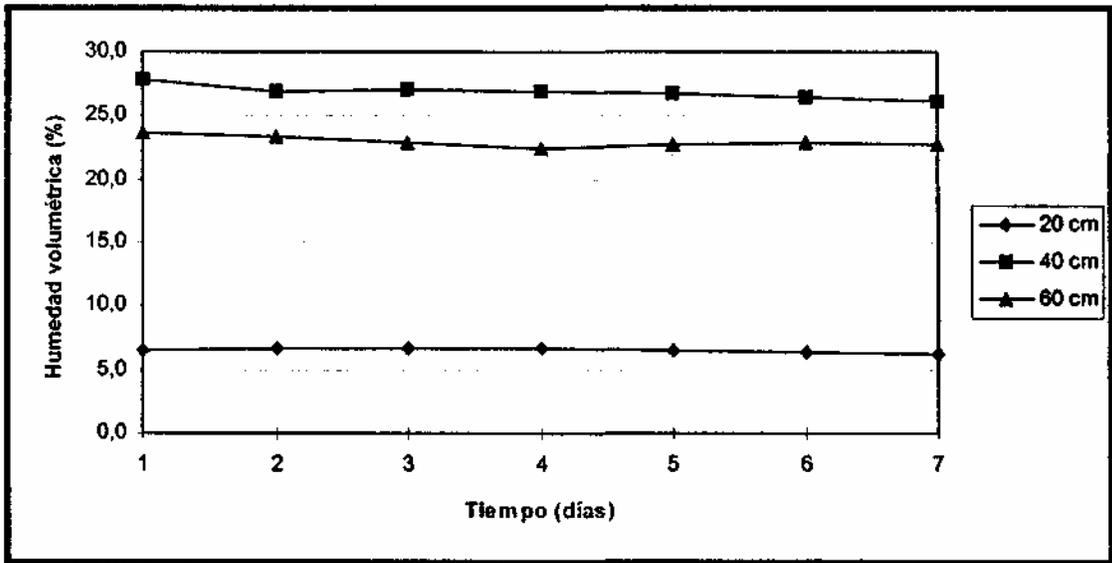


FIGURA 2. Humedad volumétrica diaria entre dos riegos bajo microaspersión, suelo liviano.

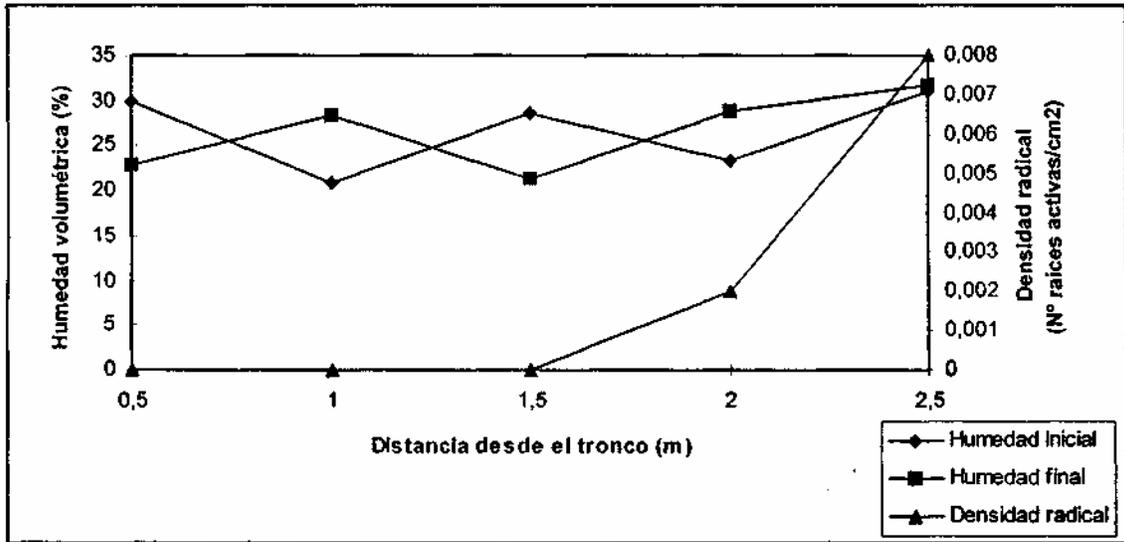


FIGURA 3. Densidad de raíces absorbentes de palto bajo riego por goteo

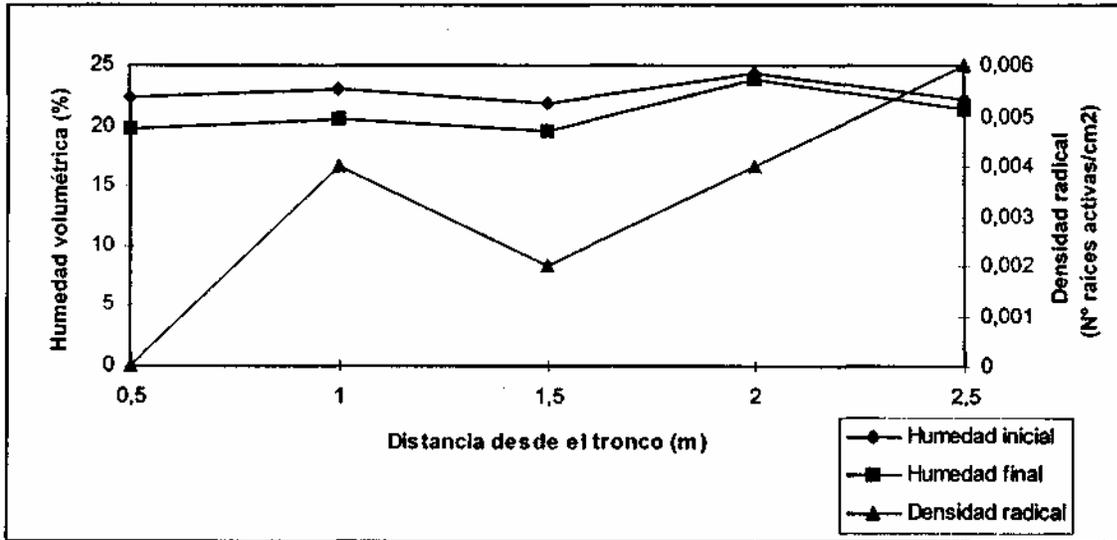


FIGURA 4. Densidad de raíces absorbentes de palto bajo riego por microaspersión

#### 4. CONCLUSIONES

En el presente estudio se encontró una relación directa entre densidad de raíces absorbentes y consumo hídrico bajo riego por goteo en condiciones de suelo liviano a 40 cm de profundidad, suelo pesado a 20 cm de profundidad y riego por microaspersión en condiciones de suelo pesado a 60 cm de profundidad.

La gran pedregosidad del sector en estudio dificulta la determinación del consumo hídrico, ya que se generan diferencias de humedad entre riegos consecutivos muy grandes, "enmascarando" la pérdida de humedad del suelo por efecto del consumo hídrico.

## 5. RESUMEN

El estudio de raíces "*in situ*" ha sido desarrollado por varios investigadores, en un comienzo con métodos laboriosos y destructivos para la planta y su medio edáfico, y actualmente con técnicas costosas y difíciles de implementar a nivel de campo especialmente en árboles frutales. Una relación directa entre densidad de raíces absorbentes y consumo de agua podría servir para determinar el patrón de distribución del sistema radical midiendo el consumo hídrico de las raíces.

Para determinar si existe relación entre densidad de raíces absorbentes de *Persea americana* Mili cv. Hass y consumo hídrico se realizó un estudio en la localidad de Quillota bajo dos sistemas de riego, goteo y microaspersión, en condiciones de suelo pesado y liviano.

La densidad de raíces absorbentes se obtuvo mediante el conteo de raíces activas en seis árboles adultos por sistema de riego, a tres profundidades de suelo, en una zanja paralela a la línea de riego.

El consumo hídrico se determinó midiendo la humedad volumétrica del suelo después de un riego y antes del riego siguiente .

Como resultado de esta investigación no se encontró una relación directa entre densidad de raíces absorbentes y consumo hídrico, dado que la gran pedregosidad del sector afecta la determinación del consumo de agua en el suelo. No se descarta que bajo otras condiciones de suelo pueda comprobarse una relación directa entre los parámetros en estudio.

## 6. LITERATURA CITADA

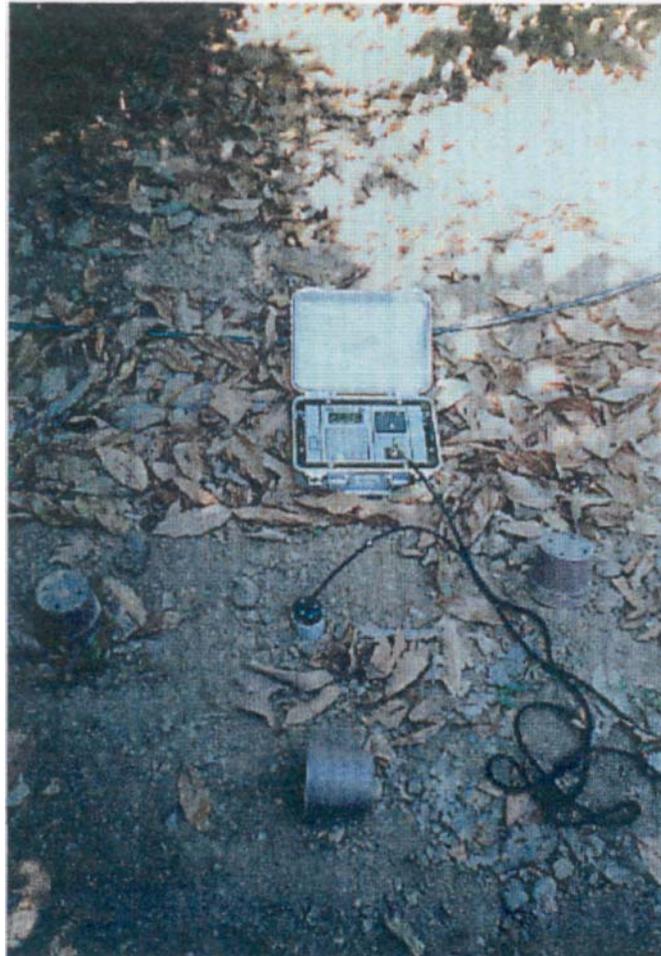
- ADATO , Y. and LEVINSON, B. 1991. Influence of Reduced Rates of Water and Fertilizer Application Using Daily Intermittent Drip Irrigation on the Water Requirements, Root Development and Responses of Avocado trees (cv. Fuerte). *Journal of Horticultural Science* 66(4): 449-463.
- ATKINSON, D. 1980. The distribution and effectiveness of the roots of the crops. *Hort. Rev.* 2: 424-490.
- BEVINGTON J.B. and CASTLE, W.S. 1985. Annual root growth pattern of young citrus trees in relation to shoot growth, soil temperature, and soil water content. *J. Amer. Soc. Hort Sci* 110: 840-854.
- BIELORAI, H; DASBERG,S; ERNER, Y. and BRUM, M. 1981. The effect of various soil moisture regimes and fertilizer level of citrus yield under partial wetting of the root zone. *Proc. Int. Soc. Citriculture Cong (Tokyo)* 1:585-589.
- BIELORAI, H. 1982. The effect of partial wetting of the root zone on yield and water use efficiency in a drip and sprinkler irrigated mature grape fruit grove. *Irrig. Sci* 3: 89-100.
- BOART LONGYEAR COMPANY. 1995. Manual of operating 503 DR Hydroprobe Moisture Gauge. California, sp.
- BRESLER, E. 1977. Trickle-drip Irrigation: principles and application to soil-water management. *Adv. Agronomy* 29:343-393.
- BOX, J. 1996. Modern methods for root investigations. In: Y. Waisel; A. Eshel; U. Kafkafi. Eds. *Plant Roots. New York, The Hidden Half.* pp.193-238
- FAUST, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees.* New York, John Wiley. 338 p.
- FLORES, D; VITE, L and BORYS, M.W. 1988. Lateral distribution on the principal root in avocado seedlings (*Persea americana* Mill). *California Avocado Soc. Yrb* 72: 237-242
- GIL,G. 1997. El potencial productivo. Crecimiento vegetativo y diseño de huertos y viñedos. Santiago, Ediciones Universidad Católica de Chile. 342 p.

- HILGEMAN, R.H. 1977. Response of citrus to water stresses in Arizona. Proc. Int Soc. Citriculture Cong. (Orlando) 1: 70-74.
- KRAMER, P.J. 1989. Relaciones hidricas de suelo y plantas. Una sintesis moderna. Mexico. Harla. 538 p.
- LAHAV, E. and KALMAR, D. 1992. Water requeriments and the effect of salinity in an avocad orchard on clay soil. Word Avocado Congres II Proceedings. Orange, California, april 21-26. pp. 323-330.
- MARTINEZ, A.R. 1981. Proyecto de implementacion de un sistema de riego tecnificado en la Estación Experimental "La Palma", Quillota. Tesis Ing. Agr. Quillota, Unversidad Catolica de Valparaiso, Facultad de Agronmia. 102 p.
- NOVOA, R.; VILLASECA, R.; DEL CANTO, P.; ROANET, J.; SIERRA, C. y DEL POZO, A. 1989. Mapa agrocilmatico de Chile. Santiago, INIA. 221 p.
- SALAZAR, S and CORTES, J. 1986. Root distribution of mature avocado tress growing in soils of diferent texture. California Avocado Society Yearbook 70: 165-174.
- TORO, M. 1995. Efecto del método de riego en la distribucion espacial del sistema radical de paltos (*Persea americana* Mill.) cv. Hass, en dos tipos de suelos Tesis Ing. Agr. Quillota, Universidad Catolica de Valparaiso. 27 p.
- TROXLER ELECTRONIC LABORATORIES, INC and Subcidiary Troxler International LTD. 1995. Manual of operation and intruccion Sentry 200-AP. NC. E.E.U.U. sp.
- UGARTE, M. 1996. Efecto del método de riego en la distribucion espacial del sistema radical de paltos (*Persea americana* Mill) cv. Hass, en suelo franco arcilloso. Tesis Ing. Agr. Quillota, Universidad Catolica de Valparaiso. 33 p.
- VALORAS, N; LETEY, J.; STOLZY, LH. and FROLICH, E.F. 1964 The oxigen requeriments for root growth of tree avocado varietes. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 85: 172-178.

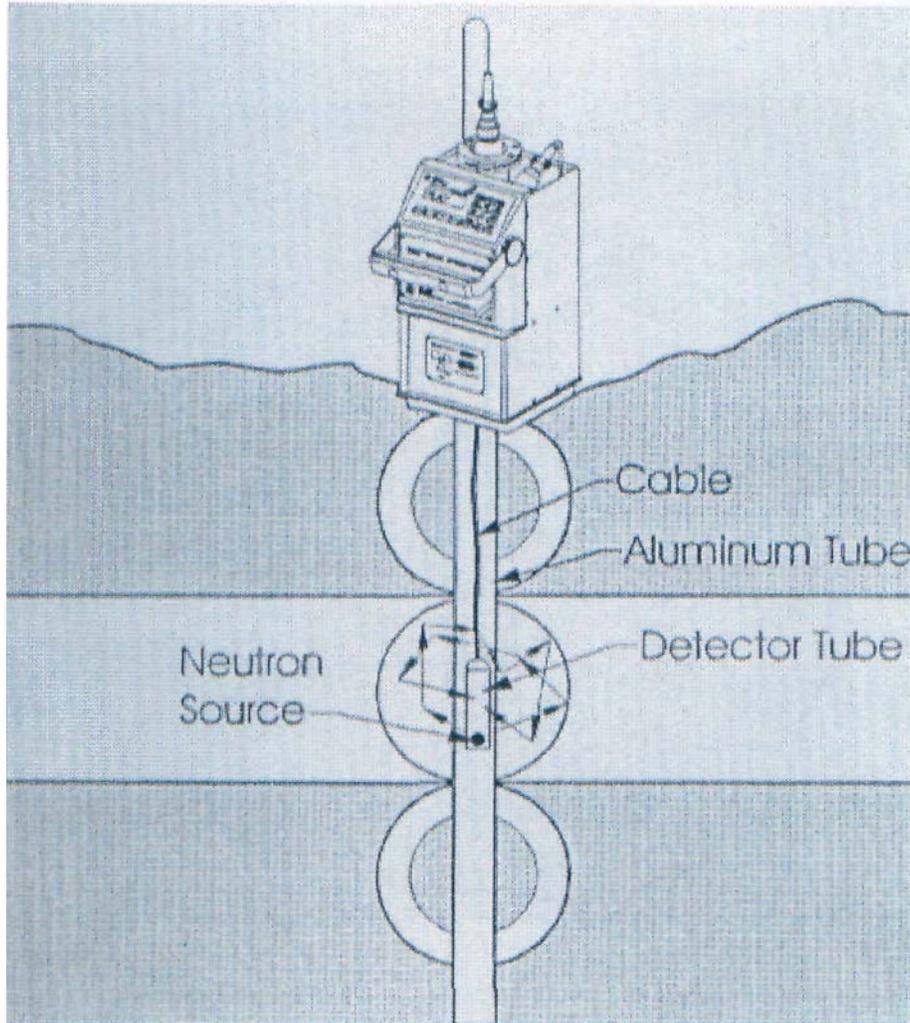
- VELLIDIS,G.; SMAJSTRLA,A. and ZAZUETA,F. 1990. Soil water redistribution and extraction patterns of drip irrigated tomatoes above a shallow water table. *Transaction of ASAE* 33 (5): 1525-1530.
- VILLABLANCA, Y. 1994. Estudio comparativo de la distribución y densidad de raíces absorbentes en palto (*Persea americana* Mill.) cv. Mass en función a los patrones de distribución uso-consumo del agua en el suelo evaluados bajo dos sistemas de riego presurizado (goteo y microaspersión). Tesis Ing. Agr. Quillota Universidad Católica de Valparaíso. 108 p.
- WHILEY, A.W.; PEGG, K.G.; SARANAH, J.P.B. and LANGDON, P.W. 1987. Influence of phytophthora root rot on mineral nutrient concentrations in avocado leaves. *Australian Journal of Experimental agriculture* 27: 173-177.
- ZENTMEYER, G.A. 1972. Avocado root rot. *California Avocado Society yearbook* vol 66: 29- 36.

ANEXOS

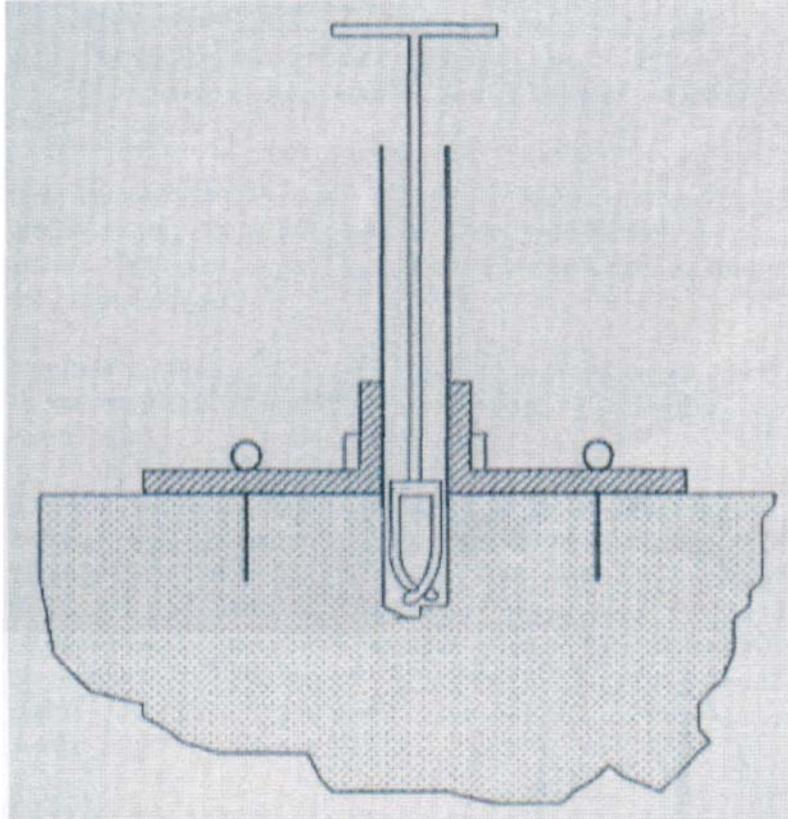
ANEXO 1: SONDA DE CAPACITANCIA



ANEXO 2: MECANISMO DE ACCIÓN DE LA Sonda DE NEUTRONES



### ANEXO 3: INSTALACIÓN DE TUBOS DE ACCESO



#### ANEXO 4: POSICIÓN DE LOS TUBOS DE ACCESO

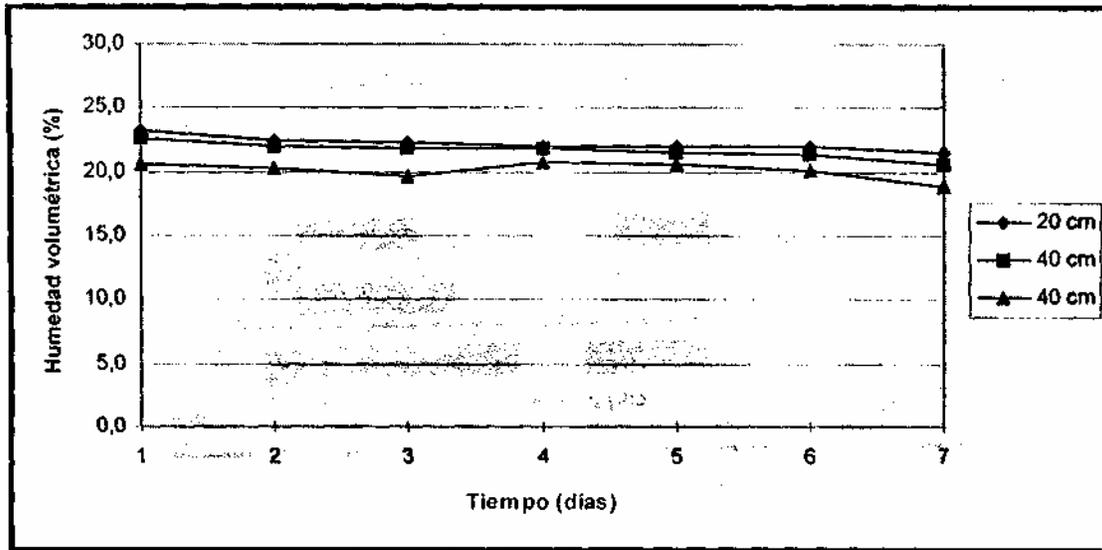


**ANEXO 5: APERTURA DE ZANJAS DE MEDICIÓN DE DENSIDAD RADICAL**

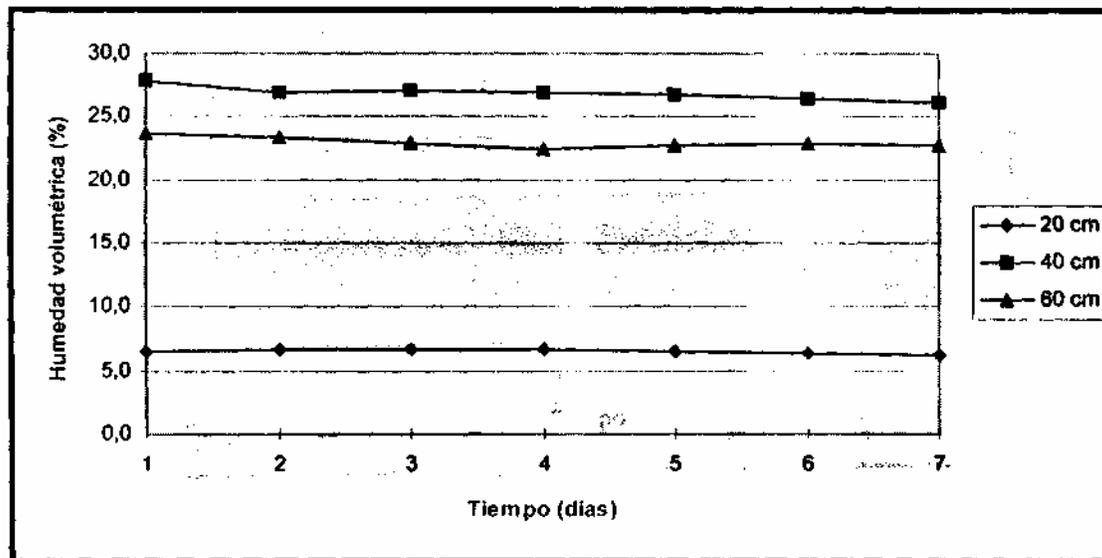


## ANEXO 6: Movimiento de agua en el suelo entre dos riegos consecutivos

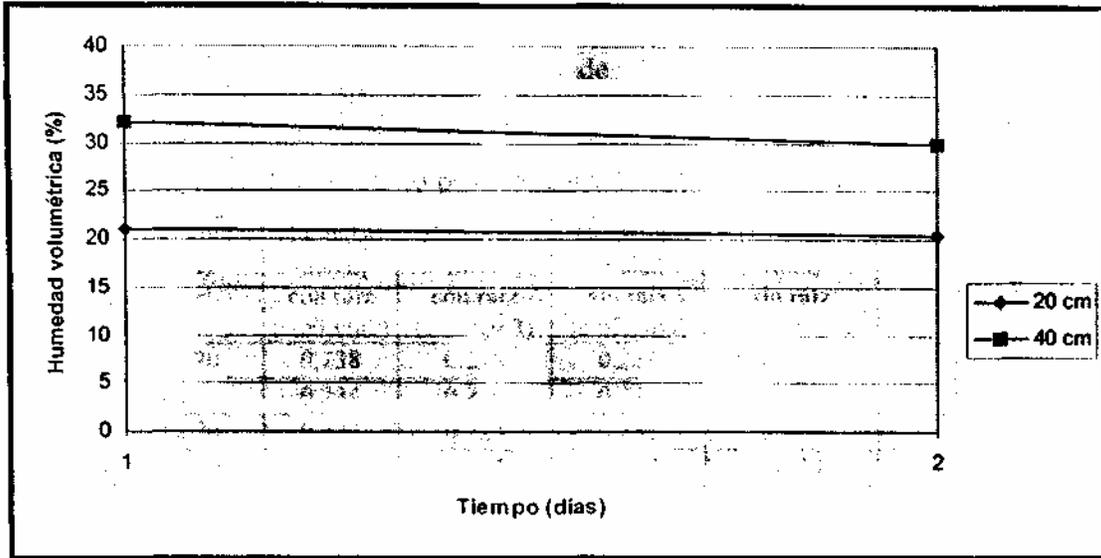
a) Microaspersión, suelo pesado.



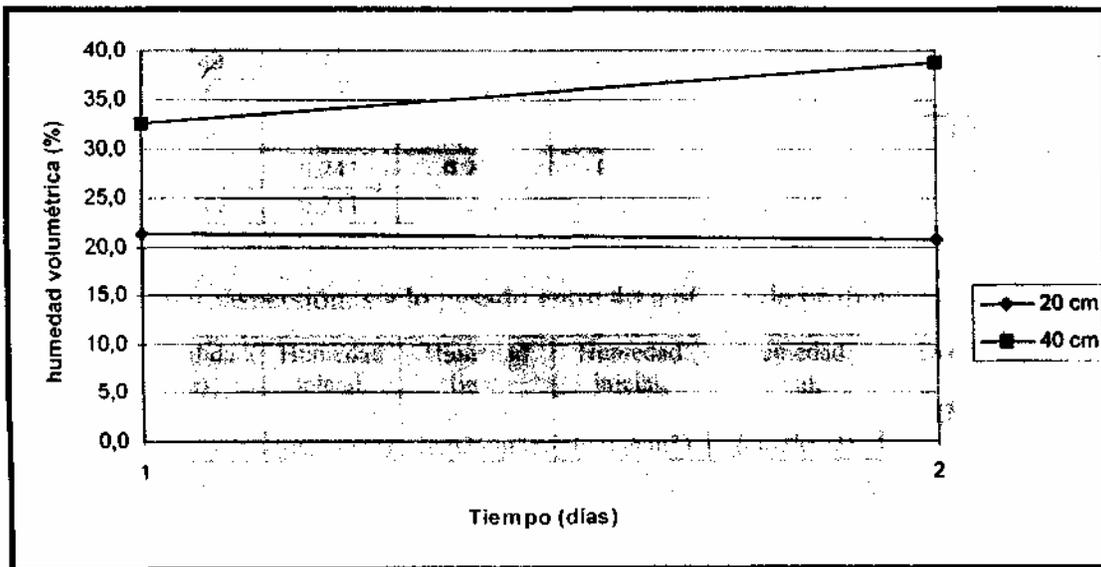
b) Microaspersión, suelo liviano.



c) Goteo, suelo pesado.



d) Goteo, suelo liviano.



ANEXO 7: Humedad inicial y final para suelo con y sin raíces y densidad radical para riego por goteo y microaspersión en suelo pesado y liviano en tres profundidades.

a) Riego por microaspersión, suelo pesado, entre 0 a 20 cm de profundidad

Distancia del tronco (cm)	Profundidad (cm)	Humedad inicial, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad inicial, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Densidad de raíces (N <sup>o</sup> /cm <sup>2</sup> )
50	0 a 20	0,238	0,218	0,238	0,231	0,003
100	0 a 20	0,234	0,216	0,224	0,212	0,008
150	0 a 20	0,234	0,223	0,232	0,203	0,003
200	0 a 20	0,203	0,184	0,194	0,170	0,002
250	0 a 20	0,208	0,189	0,221	0,200	0,005

(b) Riego por microaspersión, suelo pesado entre 20 a 40 cm de profundidad

Distancia del tronco (cm)	Profundidad (cm)	Humedad inicial, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad inicial, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Densidad de raíces (N <sup>o</sup> /cm <sup>2</sup> )
50	20 a 40	0,224	0,221	0,224	0,198	0,003
100	20 a 40	0,231	0,221	0,230	0,198	0,009
150	20 a 40	0,224	0,210	0,219	0,205	0,004
200	20 a 40	0,241	0,227	0,228	0,212	0,002
250	20 a 40	0,211	0,200	0,195	0,186	0,008

c) Riego por microaspersión, suelo pesado entre 40 a 60 cm de profundidad

Distancia del tronco (cm)	Profundidad (cm)	Humedad inicial, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad inicial, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Densidad de raíces (N <sup>o</sup> /cm <sup>2</sup> )
50	40 a 60	0,205	0,188	0,227	0,204	0,007
100	40 a 60	0,211	0,204	0,207	0,185	0,006
150	40 a 60	0,216	0,204	0,205	0,199	0,013
200	40 a 60	0,225	0,211	0,207	0,200	0,008
250	40 a 60	0,209	0,195	0,231	0,222	0,008

d) Riego por microaspersión, suelo liviano, entre 0 a 20 cm de profundidad

Distancia del tronco (cm)	Profundidad (cm)	Humedad inicial, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad inicial, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Densidad de raíces (N <sup>o</sup> /cm <sup>2</sup> )
50	0 a 20	0,262	0,247	0,260	0,243	0,004
100	0 a 20	0,244	0,230	0,202	0,199	0,002
150	0 a 20	0,202	0,188	0,126	0,115	0,001
200	0 a 20	0,206	0,192	0,269	0,271	0,001
250	0 a 20	0,228	0,199	0,228	0,274	0,000

e) Riego por microaspersión, suelo liviano, entre 20 a 40 cm de profundidad

Distancia del tronco (cm)	Profundidad (cm)	Humedad inicial, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad inicial, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Densidad de raíces (N <sup>o</sup> /cm <sup>2</sup> )
50	20 a 40	0,244	0,250	0,283	0,271	0,007
100	20 a 40	0,254	0,246	0,280	0,266	0,001
150	20 a 40	0,255	0,238	0,272	0,245	0,003
200	20 a 40	0,241	0,219	0,243	0,226	0,001
250	20 a 40	0,264	0,252	0,274	0,261	0

f) Riego por microaspersión, suelo liviano, entre 40 a 60 cm de profundidad

Distancia del tronco (cm)	Profundidad (cm)	Humedad inicial, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad inicial, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Densidad de raíces (N <sup>o</sup> /cm <sup>2</sup> )
50	40 a 60	0,210	0,202	0,233	0,216	0,006
100	40 a 60	0,219	0,211	0,236	0,226	0,001
150	40 a 60	0,237	0,225	0,241	0,239	0,005
200	40 a 60	0,244	0,228	0,227	0,218	0,003
250	40 a 60	0,232	0,219	0,240	0,227	0

a) Riego por goteo, suelo pesado, entre 0 a 20 cm de profundidad

Distancia del tronco (cm)	Profundidad (cm)	Humedad inicial, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad inicial, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Densidad de raíces (N <sup>o</sup> /cm <sup>2</sup> )
50	0 a 20	0,224	0,189	0,299	0,23	0,001
100	0 a 20	0,206	0,221	0,259	0,252	0,002
150	0 a 20	0,198	0,199	0,189	0,182	0,002
200	0 a 20	0,198	0,205	0,185	0,178	0,010
250	0 a 20	0,249	0,271	0,216	0,239	0,007

b) Riego por goteo, suelo pesado, entre 20 a 40 cm de profundidad

Distancia del tronco (cm)	Profundidad (cm)	Humedad inicial, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad inicial, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Densidad de raíces (N <sup>o</sup> /cm <sup>2</sup> )
50	20 a 40	0,236	0,225	0,203	0,243	0,007
100	20 a 40	0,261	0,254	0,244	0,25	0,014
150	20 a 40	0,300	0,285	0,37	0,301	0,007
200	20 a 40	0,256	0,273	0,349	0,346	0,007
250	20 a 40	0,364	0,360	0,505	0,507	0,015

c) Riego por goteo, suelo liviano, entre 0 a 20 cm de profundidad

Distancia del tronco (cm)	Profundidad (cm)	Humedad inicial, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad inicial, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Densidad de raíces (N <sup>o</sup> /cm <sup>2</sup> )
50	0 a 20	0,175	0,192	0,21	0,203	0,006
100	0 a 20	0,250	0,263	0,286	0,249	0,004
150	0 a 20	0,218	0,212	0,202	0,197	0,002
200	0 a 20	0,216	0,214	0,228	0,221	0,006
250	0 a 20	0,186	0,184	0,284	0,274	0,005

d) Riego por goteo, suelo liviano, entre 20 a 40 cm de profundidad

Distancia del tronco (cm)	Profundidad (cm)	Humedad inicial, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, con raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad inicial, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad final, sin raíz (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Densidad de raíces (N <sup>o</sup> /cm <sup>2</sup> )
50	20 a 40	0,281	0,311	0,403	0,401	0,004
100	20 a 40	0,329	0,309	0,23	0,219	0,005
150	20 a 40	0,474	0,501	0,538	0,362	0,002
200	20 a 40	0,287	0,321	0,223	0,212	0,004
250	20 a 40	0,271	0,268	0,342	0,322	0,005

ANEXO 8: DENSIDAD RADICAL (N° RAICES ACTIVAS/CM<sup>2</sup>).

a) Riego por microaspersión y suelo liviano (5/9/97).

Distancia del tronco (m)	0-20	20-40	40-60
50	0,008	0,008	0,017
100	0,023	0,002	0,006
150	0,000	0,004	0,006
200	0,002	0,006	0,015
250	0,002	0,002	0,000
50	0,002	0,000	0,000
100	0,000	0,000	0,000
150	0,000	0,000	0,000
200	0,004	0,002	0,004
250	0,002	0,004	0,008
50	0,004	0,008	0,008
100	0,000	0,008	0,008
150	0,000	0,000	0,004
200	0,000	0,004	0,006
250	0,000	0,002	0,002

b) Riego por microaspersión y suelo pesado (5/9/97)

Distancia del tronco (m)	0-20	20-40	40-60
50	0,002	0,004	0,017
100	0,000	0,004	0,004
150	0,000	0,000	0,010
200	0,000	0,004	0,027
250	0,000	0,006	0,015
50	0,000	0,008	0,017
100	0,013	0,031	0,006
150	0,000	0,015	0,021
200	0,002	0,004	0,008
250	0,004	0,013	0,000
50	0,006	0,019	0,031
100	0,000	0,000	0,015
150	0,000	0,000	0,017
200	0,008	0,004	0,015
250	0,008	0,006	0,004

c) Riego por goteo y suelo liviano (8/9/97).

Distancia del tronco (m)	0-20	20-40
50	0,015	0,013
100	0,021	0,017
150	0,008	0,013
200	0,010	0,010
250	0,017	0,010
50	0,002	0,000
100	0,002	0,004
150	0,006	0,004
200	0,006	0,004
250	0,004	0,004
50	0,008	0,002
100	0,010	0,002
150	0,002	0,000
200	0,004	0,002
250	0,006	0,004

d) Riego por goteo y suelo pesado (8/9/97)

Distancia del tronco (m)	0-20	20-40
50	0,008	0,017
100	0,013	0,019
150	0,006	0,019
200	0,004	0,013
250	0,010	0,019
50	0,015	0,025
100	0,019	0,031
150	0,021	0,031
200	0,015	0,023
250	0,025	0,031
50	0,008	0,013
100	0,004	0,006
150	0,000	0,006
200	0,004	0,006
250	0,004	0,008

e) Riego por microaspersión y suelo liviano (5/12/97)

Distancia del tronco (m)	0-20	20-40	40-60
50	0,004	0,013	0,008
100	0,006	0,004	0,000
150	0,002	0,006	0,010
200	0,000	0,002	0,000
250	0,000	0,000	0,000
50	0,004	0,004	0,010
100	0,000	0,000	0,004
150	0,000	0,002	0,002
200	0,000	0,000	0,002
250	0,000	0,000	0,000
50	0,004	0,004	0,000
100	0,000	0,000	0,000
150	0,000	0,000	0,002
200	0,002	0,000	0,006
250			

f) Riego por microaspersión y suelo pesado (5/12/97)

Distancia del tronco (m)	0-20	20-40	40-60
50	0,004	0,000	0,013
100	0,002	0,004	0,010
150	0,004	0,002	0,017
200	0,004	0,004	0,010
250	0,002	0,006	0,015
50	0,004	0,004	0,002
100	0,021	0,023	0,008
150	0,004	0,010	0,017
200			
250	0,010	0,010	0,004
50	0,000	0,004	0,006
100	0,000	0,000	0,000
150	0,000	0,000	0,006
200	0,000	0,000	0,006
250	0,002	0,006	0,006

g) Riego por goteo y suelo liviano (6/12/97)

Distancia del tronco (m)	0-20	20-40
50	0,002	0,010
100	0,002	0,004
150	0,004	0,004
200	0,015	0,002
250	0,000	0,002
50	0,002	0,000
100	0,006	0,004
150	0,002	0,002
200	0,000	0,002
250	0,010	0,006
50	0,015	0,002
100	0,004	0,006
150	0,000	0,000
200	0,004	0,008
250	0,004	0,006

h) Riego por goteo y suelo pesado (6/12/97)

Distancia del tronco (m)	0-20	20-40
50	0,000	0,008
100	0,000	0,025
150	0,000	0,010
200	0,002	0,010
250	0,008	0,019
50	0,000	0,004
100	0,002	0,004
150	0,006	0,000
200	0,025	0,008
250	0,006	0,010
50	0,002	0,008
100	0,004	0,013
150	0,000	0,010
200	0,002	0,002
250		